



**Mário Filipe Capela
Fernandes**

**Estudo de soluções de fachada com tecnologia
fotovoltaica**



**Mário Filipe Capela
Fernandes**

**Estudo de soluções de fachada com tecnologia
fotovoltaica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação do Professor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos por todo o seu apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins,

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A base da elaboração deste trabalho foi a motivação, para a qual contribuíram diversos factores: o gosto pela área, o interesse do tema, o gosto na aprendizagem, o enriquecimento a nível profissional e pessoal, etc., mas sem dúvida que a maior motivação foi dada pelas pessoas, as que fazem parte da nossa vida, que sabemos que estão presentes e que nos dão apoio quando precisamos delas, as que não recusaram um pedido de colaboração e todas as que contribuíram para que fosse possível a sua concretização.

Registo assim a minha gratidão:

Aos meus orientadores científicos, o Professor Doutor Romeu da Silva Vicente e o Professor Nelson Amadeu Dias Martins, pelo apoio e interesse manifestados neste trabalho, pela disponibilidade para esclarecer dúvidas, pela orientação dada no desenvolvimento e estruturação do trabalho e pela motivação para fazer sempre melhor.

Ao meu colega Tiago Casinhas, com quem partilhei muitos fins-de-semana a trabalhar para esta tese, enquanto ele trabalhava na sua, pela boa disposição, companhia, amizade, apoio e motivação.

À Martifer Alumínios pelo interesse que manifestou no tema, que me apoiou para que eu avançasse com esta dissertação e à flexibilidade que manifestou para que eu pudesse estar presente em reuniões e sessões de esclarecimento. Aos encarregados da obra de Alcobendas, Vitor e Tiago, à equipa de direcção de obra e ao director residente em obra, o Ivo.

À Martifer Solar pelo apoio que me deu numa área que eu não dominava, nunca recusou ajuda e documentação. Agradeço em particular ao Rui António, à Cristina Almeida, ao Francisco Oliveira, ao Pedro Almeida, ao Leandro Bento e ao Jesus Pacheco.

Finalmente um agradecimento aos meus pais (Mário e Isilda), às minhas irmãs (Rita e Carla), ao meu cunhado, aos meus sobrinhos e aos meus grandes amigos e amigas que estiveram sempre presentes.

palavras-chave

Módulos fotovoltaicos, tecnologia de fachadas, alumínio e vidro.

resumo

Esta dissertação aborda o tema da tecnologia fotovoltaica aplicada a fachadas de alumínio. Pretende-se incentivar e divulgar a utilização da tecnologia fotovoltaica, identificar e compreender “in situ” as dificuldades construtivas da instalação de uma fachada e clarabóias fotovoltaicas e ainda, avaliar a viabilidade técnica e económica da instalação de painéis de vidro com células fotovoltaicas para produzir energia.

Apresenta-se a terminologia técnica, desde os sistemas de fachadas de alumínio, o vidro, a energia, a instalação e os módulos fotovoltaicos. São abordados e listados os principais materiais de uma fachada fotovoltaica: o alumínio, o vidro, as células fotovoltaicas, os módulos fotovoltaicos e os sistemas fotovoltaicos utilizados nos edifícios. No âmbito legal, identifica-se a legislação mais relevante aplicável a fachadas de alumínio e vidro, instalações fotovoltaicas, produção de energia e comportamento térmico de edifícios.

Desenvolve-se um estudo prático, sobre uma obra a decorrer. É apresentada e analisada a sua execução, desde o seu estudo em fase de projecto até à sua conclusão. É analisada a solução de fachada aplicada, é elaborado um esclarecimento de todo o projecto de execução, incluindo a explanação de situações imprevistas que surgiram no desenvolvimento do projecto. No âmbito da instalação fotovoltaica, procede-se à enumeração de todos os componentes e materiais: a estrutura de suporte, o gerador fotovoltaico (constituído pelos módulos fotovoltaicos), os inversores e o sistema de monitorização. Desenvolve-se uma descrição de todas as conexões e ligações, são apresentados os cálculos que deram origem à secção dos cabos (corrente contínua e alternada) e é efectuado o estudo da produção energética.

No âmbito económico é realizado um estudo de viabilidade com a avaliação do período de recuperação do investimento.

No final são efectuadas simulações ao projecto, uma colocando a fachada na sua orientação óptima e outra considerando que houve diminuição da área de fachada e aumento da área de clarabóias, para se poder aferir os valores de produção e viabilidade económica das possibilidades estudadas.

keywords

Photovoltaic modules, technology of façades, aluminium and glass.

abstract

This work boards the subject of the photovoltaic technology devoted to aluminium façades. Its intended to stimulate and to spread the use of the photovoltaic technology, to identify and to understand "in situ" the constructive difficulties of the installation of a façade and photovoltaic skylights and also to evaluate the technical and economical viability of the installation of glass panels with photovoltaic cells to produce energy.

It is presented the technical terminology, from the aluminium façades systems, the glass, the energy, the installation and the photovoltaic modules. There is boarded and listed, the main constituent materials of a photovoltaic façade, the aluminium, the glass, the photovoltaic cells, the photovoltaic modules and the photovoltaic systems used in the buildings. In the legal extent, the most relevant applicable legislation is identified with aluminium and glass façades, photovoltaic installations, production of energy and thermal behaviour of buildings.

A practical study is developed, on a construction in course. Its execution is presented and analysed, from its study in phase of project to its conclusion. The solution of applied façade is analysed, there is prepared an explanation of the whole project of execution, including the explanation of unforeseen situations that appeared in the development of the project. In the context of the project of photovoltaic installation, there comes the enumeration of all the components and materials: the support structure, the photovoltaic generator (constituted by the photovoltaic modules), the inverters and the visualisation system. It is developed a description of all the connections and links, there are presented the calculations that caused the section of the cables (current continuous and alternate) and there is developed the study of the energetic production.

In the economical extent, a feasibility study is carried out with the evaluation of the period of recuperation of the investment.

At the end simulations are developed to the project, one putting the façade in its best direction and another considering that there was reduction of the area of façade and increase of the area of skylights, in order to check the values of production and economical viability of the studied possibilities.

Índice	xv
Índice de Figuras	xviii
Índice de Tabelas	xx
Lista de Símbolos	xxi
Capítulo 1	26
1. Introdução	27
1.1. Enquadramento do tema	27
1.2. Objectivos	28
1.3. Organização da dissertação.....	28
1.4. Terminologia e definições	29
Capítulo 2	32
2. Fachadas Fotovoltaicas	33
2.1. Materiais e componentes	33
2.1.1. Alumínio.....	33
2.1.1.1. Perfis de alumínio.....	34
2.1.1.2. Processo de anodização	35
2.1.1.3. Processo de lacagem.....	37
2.1.2. Vidro.....	40
2.1.2.1. Vidro fotovoltaico	41
2.1.3. Células fotovoltaicas.....	42
2.2. Módulos fotovoltaicos	43
2.2.1. Concepção e homologação de módulos fotovoltaicos.....	44
2.3. Sistemas fotovoltaicos para edifícios.....	44
Capítulo 3	48
3. Normalização e Legislação.....	49
3.1. Sistemas de fachadas de alumínio e vidro	49
3.2. Instalação fotovoltaica	52
3.3. Produção de energia.....	54
3.4. Desempenho energético e comportamento térmico de edifícios	58
Capítulo 4	62
4. Obra realizada e acompanhada	63
4.1. Centro Cultural de Alcobendas.....	63
4.1.1. Fachada VEC Respirante.....	66
4.1.1.1. Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”	67
4.1.2. Projecto de execução da fachada e clarabóias	68
4.1.2.1. Estrutura de alumínio	73
4.1.2.2. Vidro.....	82
4.1.2.3. Condicionantes e constrangimentos do processo de montagem.....	90
4.1.2.3.1. Passagem de cabos	90
4.1.2.3.2. Vidros com estore.....	95
4.1.2.3.3. Condensações	98
4.1.2.3.4. Cabos livres de halogéneos	102
4.1.3. Projecto de instalação Fotovoltaica	103
4.1.3.1. Estrutura de suporte	104
4.1.3.2. Gerador Fotovoltaico.....	105
4.1.3.3. Inversores	109
4.1.3.4. Sistema de monitorização.....	112
4.1.3.5. Conexão da instalação fotovoltaica à rede eléctrica.....	115
4.1.3.6. Protecções eléctricas.....	116
4.1.3.7. Contagem de energia	116

4.1.3.8. Ligação à terra	117
4.1.3.9. Canalizações eléctricas	117
4.1.3.10. Dimensionamento do gerador fotovoltaico	118
4.1.3.10.1. Secções de cabos	118
4.1.3.10.1.1. Cablagem de corrente contínua	120
4.1.3.10.1.2. Cablagem de corrente alternada	121
4.1.3.10.2. Estudo de produção energética	123
4.1.3.11. Estudo económico	125
4.1.3.11.1. Valor actual líquido (VAL) do cash flow	125
4.1.3.11.2. Período de recuperação do investimento (PRI)	127
4.1.3.12. Simulações	129
4.1.3.12.1. 1ª Proposta - Orientação da fachada em azimute = 0°	129
4.1.3.12.2. 2ª Proposta - Alteração das áreas da fachada e clarabóias	131
4.1.3.13. Estudo dos resultados	134
Capítulo 5	138
5. Conclusão	139
5.1. Breve descrição do trabalho	139
5.2. Avaliação dos resultados	139
5.2.1. Energias alternativas	140
5.2.2. Sistemas de fachada com incorporação de tecnologia fotovoltaica	141
5.2.3. Normalização e legislação	142
5.2.4. Condicionantes e constrangimentos da obra de Alcobendas	143
5.2.5. Dimensionamento da instalação	144
5.2.6. Estudo de produção energética	144
5.3. Comentários finais	146
Referências bibliográficas	149

ANEXOS

ANEXO A

A1. Terminologia e definições	A3
A1.1. Fachadas de alumínio	A3
A1.2. Vidro	A6
A1.3. Energia primária	A10
A1.4. Instalação	A10
A1.5. Módulos fotovoltaicos	A13

ANEXO B

B1. Qualificação da concepção e homologação de módulos fotovoltaico	B3
---	----

ANEXO C

C1. Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”	C3
C1.1. Considerações sobre o processo	C3
C1.2. Especificação dos requisitos técnicos	C6
C1.3. Outras observações do grupo especializado	C7
C1.4. Materiais, produtos e componentes	C8
C1.5. Elementos	C10

C1.6. Fabrico	C11
C1.7. Execução	C12
C1.8. Manutenção e reparação	C12

ANEXO D – Alçados e cortes da fachada e clarabóia

ANEXO E – Identificação de vidros

ANEXO F

F1. Funcionamento dos vidros com estore	F3
---	----

ANEXO G – Ligações e conexões fotovoltaicas

ANEXO H

H1. Protecções eléctricas	H3
H1.1. Corrente contínua.....	H3
H1.2. Corrente alternada.....	H5

ANEXO I

I1. Canalizações eléctricas.....	I3
I1.1. Cabos de corrente contínua	I3
I1.2. Cabos de corrente alternada	I8
I1.3. Caminho de cabos	I9

Índice de Figuras

Figura 1.	Cabines de pintura de lacagem.	39
Figura 2.	Células fotovoltaicas de silício monocristalino [10].....	42
Figura 3.	Células fotovoltaicas de silício policristalino [10].....	43
Figura 4.	Vista aérea da obra da obra do Centro Cultural de Alcobendas.	64
Figura 5.	Vista Nascente do Centro Cultural de Alcobendas.....	65
Figura 6.	Visualização Este do Centro Cultural de Alcobendas.	65
Figura 7.	Filtro respirante.....	67
Figura 8.	Filtros respirantes montados nos quadros.....	67
Figura 9.	Desenho de alçado sudeste da estrutura metálica e de betão da obra.	69
Figura 10.	Estrutura metálica e de betão da obra.....	69
Figura 11.	Estrutura metálica da clarabóia 3.....	70
Figura 12.	Estrutura metálica da clarabóia 3 montada em obra.....	70
Figura 13.	Desenho do levantamento topográfico do edifício.....	71
Figura 14.	Peças de amarração das clarabóias.....	72
Figura 15.	Peça de amarração da Fachada.....	73
Figura 16.	Peça de amarração da Fachada.....	73
Figura 17.	Inserção do taco de ligação travessa-montante em ligações a 90°.....	74
Figura 18.	Peças de ligação travessa-montante em situações com ângulos diferentes de 90°.....	74
Figura 19.	Entalhe para chapa de drenagem e taco de ligação travessa-montante.	75
Figura 20.	Pormenor da ligação quadro/travessa postíça.....	75
Figura 21.	Rasgos para ventilação nas travessas.....	76
Figura 22.	Rasgos para filtros respirantes.....	77
Figura 23.	Esquema de colocação dos filtros respirantes.....	77
Figura 24.	Filtro respirante e rasgo para ventilação do perfil de quadro.....	78
Figura 25.	Alçado parcial representativo da fachada.....	78
Figura 26.	Corte Vertical 1.....	79
Figura 27.	Corte Vertical 2.....	79
Figura 28.	Corte Horizontal 3.....	80
Figura 29.	Pormenor 3D do caixilho com o vidro fotovoltaico e o vidro com estore.....	80
Figura 30.	Pormenor da travessa das clarabóias.....	81
Figura 31.	Pormenor do montante das clarabóias.....	81
Figura 32.	Montantes e travessas da clarabóia 3 montados em obra.....	81
Figura 33.	Vidro fotovoltaico.....	82
Figura 34.	Célula fotovoltaica policristalina.....	82
Figura 35.	Quadro completo com pano de vidro fotovoltaico e vidro com estore.....	83
Figura 36.	Fachada fotovoltaica com os vidros fotovoltaicos e o colorido dos vidros com estores.....	83
Figura 37.	Desenhos dos vidros fotovoltaicos encomendados.....	84
Figura 38.	Alçado com disposição por tipo de vidro fotovoltaico.....	85
Figura 39.	Exemplos de vidros molde fotovoltaicos e dummies encomendados.....	86
Figura 40.	Tipos de lâminas fixas.....	87
Figura 41.	Cores das lâminas dos estores.....	87
Figura 42.	Vidro fotovoltaico aplicado nas clarabóias.....	89
Figura 43.	Vidro fotovoltaico montado numa clarabóia.....	89
Figura 44.	Zona de ligação dos cabos aos vidros.....	90

Figura 45.	Solução inicial para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.....	91
Figura 46.	Pormenor da solução inicial para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.	91
Figura 47.	Solução final para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.	92
Figura 48.	Furação no quadro de alumínio para passagem dos cabos dos vidros fotovoltaicos.	92
Figura 49.	Pormenor da solução final para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos... ..	93
Figura 50.	Zona de passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.	93
Figura 51.	Pormenor da solução com clip para colocação de cantoneira de alumínio.	94
Figura 52.	Peças de segurança na posição vertical.	94
Figura 53.	Aspecto final da passagem de cabos na Fachada.	95
Figura 54.	Solução para colocação dos estores em vidros molde com lados curvos.....	95
Figura 55.	Vidros molde com estore com lados curvos.....	96
Figura 56.	Solução de película colada para vidros molde.....	96
Figura 57.	Quadro fotovoltaico com painel sandwich no pano interior.....	97
Figura 58.	Estore com os fios partidos.....	97
Figura 59.	Vidros com estore com as lâminas coladas.	98
Figura 60.	Quadro de vidro fotovoltaico com condensações no interior.	98
Figura 61.	Vidro fotovoltaico com condensações no interior.	99
Figura 62.	Posição do vidro fotovoltaico no cavalete.....	100
Figura 63.	Furações para passagens de cabos.	100
Figura 64.	Orifício na zona da barrete.	101
Figura 65.	Injecção de água no buraco na zona da barrete.	101
Figura 66.	Pontos de humidade junto à colagem do vidro fotovoltaico.	101
Figura 67.	Escova e líquido de limpeza de vidro e desengordurante de alumínio.....	102
Figura 68.	Aspecto de cabos livres de halogéneos depois de um incêndio.	103
Figura 69.	Superfície fotovoltaica da fachada e das clarabóias.	104
Figura 70.	Pormenor de ligação dos vidros fotovoltaicos.....	106
Figura 71.	Conexão em série entre dois vidros fotovoltaicos.	106
Figura 72.	Ligação do cabo da série E (E-) ao vidro correspondente.....	106
Figura 73.	Módulos vidro-vidro fotovoltaicos utilizados na fachada.	107
Figura 74.	Pormenor da peça de ligação dos vidros fotovoltaicos aos cabos.	108
Figura 75.	Planta da sala técnica.....	109
Figura 76.	Inversores instalados na sala técnica.	110
Figura 77.	Curva de rendimento do inversor SMC 6000A [73].	110
Figura 78.	Web box e sensor box.....	112
Figura 79.	Sistema de monitorização na sala técnica.....	113
Figura 80.	Representação esquemática do <i>Sensor Box</i> [73].	114
Figura 81.	Representação esquemática da <i>Web Box</i> [73].	115

Índice de Tabelas

Tabela 1.	Valores característicos das propriedades físicas e mecânicas dos perfis de alumínio.	35
Tabela 2.	Espessura da camada anódica em função da agressividade do meio ambiente [5].	36
Tabela 3.	Normas ISO de qualidade [5].	36
Tabela 4.	Frequência de limpeza do alumínio [5].	37
Tabela 5.	Primeira encomenda de vidro fotovoltaico e dummie.	84
Tabela 6.	Módulos fotovoltaicos e módulos dummies.	85
Tabela 7.	Características dos vidros fotovoltaicos das clarabóias.	88
Tabela 8.	Características dos módulos vidro-vidro da fachada.	108
Tabela 9.	Características dos módulos vidro-vidro das clarabóias.	108
Tabela 10.	Características dos inversores utilizados [73].	111
Tabela 11.	Quedas de tensão nos circuitos de corrente contínua.	120
Tabela 12.	Quedas de tensão nos circuitos de corrente alternada no troço 1.	122
Tabela 13.	Quedas de tensão nos circuitos de corrente alternada no troço 2.	123
Tabela 14.	Produção mensal da fachada.	124
Tabela 15.	Produção mensal das clarabóias.	124
Tabela 16.	Valor anual de venda de energia à rede.	127
Tabela 17.	Fluxos líquidos gerados pelo projecto.	128
Tabela 18.	Período de recuperação do investimento actualizado.	129
Tabela 19.	Produção mensal da fachada para azimute = 0°.	129
Tabela 20.	Valor anual de venda de energia à rede.	130
Tabela 21.	Fluxos líquidos gerados pelo projecto.	130
Tabela 22.	Período de recuperação do investimento actualizado.	131
Tabela 23.	Produção mensal da fachada para azimute = 51°.	132
Tabela 24.	Produção mensal das clarabóias.	132
Tabela 25.	Valor anual de venda de energia à rede.	133
Tabela 26.	Fluxos líquidos gerados pelo projecto.	133
Tabela 27.	Período de recuperação do investimento actualizado.	134
Tabela 28.	Valor anual de produção e venda de energia à rede para as diversas situações. ...	135
Tabela 29.	Estudo comparativo de produções de energia nas diversas situações.	135
Tabela 30.	PRIA nas diversas situações.	136
Tabela 31.	Estudo comparativo de PRIA nas diversas situações.	136

Lista de Símbolos

<i>Ae</i>	Absorção energética (%);
<i>AGS</i>	Liga de alumínio, magnésio e silício;
<i>AMT</i>	Ano meteorológico típico de um lugar;
<i>AR</i>	Anti-reflexão;
<i>BIPV</i>	<i>Building integrated photovoltaic</i> ;
<i>BT</i>	Baixa tensão;
<i>C₂₀ (Ah)</i>	Capacidade nominal (V);
<i>CEM</i>	Condições standard de medida;
<i>CTE</i>	Célula de tecnologia equivalente;
<i>CSTB</i>	<i>Centre scientifique et technique du bâtiment</i> ;
<i>CA</i>	Corrente alternada;
<i>CC</i>	Corrente contínua;
<i>CCE</i>	Quadro de conexão à rede;
<i>CE</i>	Quadro de paralelos;
<i>CF</i>	<i>Cash flow</i> ;
<i>E</i>	Módulo de elasticidade (N/mm ²);
<i>EN</i>	Norma europeia;
<i>EVA</i>	Espuma vinílica acetinada;
<i>FCA</i>	Frequência de corrente alternada (Hz);
<i>FER</i>	<i>Foundation for environmental research</i> ;
<i>f_{yd}</i>	Tensão de cedência (N/mm ²);
<i>g</i>	Factor solar (%);
<i>G</i>	Módulo de elasticidade transversal (N/mm ²);
<i>he</i>	1/he = Resistência térmica superficial exterior m ² °C/ W;
<i>hi</i>	1/hi = Resistência térmica superficial interior m ² °C/ W;
<i>HST</i>	<i>Heat-Soak test</i> ;
<i>I</i>	Intensidade (A);
<i>Icc</i>	Intensidade de curto-circuito (A);
<i>IDAE</i>	<i>Instituto para la diversificación y ahorro de la energía</i> ;
<i>IEC</i>	<i>International electrotechnical commission</i> ;
<i>I.I</i>	Investimento inicial (€);

<i>Imp</i>	Intensidade de máxima potência (A);
<i>IP</i>	Índice de protecção;
<i>ITC</i>	Instrução técnica complementar;
<i>IPV</i>	Corrente de entrada (A);
<i>j</i>	Taxa de capitalização efectiva (%);
<i>ISO</i>	<i>International organization for standardization</i> ;
<i>Low-E</i>	Capa de baixa emissividade;
<i>MPPT</i>	<i>Maximum Power Point Tracking</i> ;
<i>NF</i>	Norma francesa;
<i>PAC</i>	Potência de corrente alternada (W);
<i>PD</i>	Profundidade de descarga (%);
<i>PDC</i>	Potência de corrente contínua (W);
<i>P_n</i>	Potência nominal (W);
<i>P_p</i>	Potência pico (W);
<i>PRI</i>	Período de recuperação do investimento;
<i>PRIA</i>	Período de recuperação do investimento actualizado;
<i>PVB</i>	Polivinil butiral;
<i>PVF</i>	Fluoreto de polivinil;
<i>R</i>	Resistência aparente (Ω/km);
<i>Re</i>	Reflexão energética (%);
<i>REBT</i>	Reglamento electrónico para baixa tensão;
<i>Rl</i>	Reflexão luminosa (%);
<i>RPT</i>	Perfis de rotura de ponte térmica;
<i>SEI</i>	Sistema eléctrico independente;
<i>SGG</i>	<i>Saint-Gobain glass</i> ;
<i>SNJF</i>	<i>Syndicat national des joints et façades</i> ;
<i>Te</i>	Transmissão energética (%);
<i>Tl</i>	Transmissão luminosa (%);
<i>TONC</i>	Temperatura de operação nominal da célula (°C);
<i>U</i>	Coefficiente de transmissão térmica superficial ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$);
<i>UCA</i>	Tensão de corrente alternada (V);
<i>UCC</i>	Tensão de corrente contínua (V);
<i>UMPP</i>	Nível de tensão MPPT (V);
<i>UNE</i>	<i>Una norma española</i> ;

UV	Radiação ultravioleta;
VA	Valor actual do dinheiro (€);
VAL	Valor actual líquido (€);
V_{ca}	Tensão de circuito aberto (V);
VDC	<i>Volts of direct current</i> ;
VEC	Vidro exterior colado;
VF	Valor futuro do dinheiro (€);
V_{mp}	Tensão de máxima potência (V);
V_{RMS}	Valor eficaz da tensão alternada de saída (V);
ΔU	Queda de tensão (V);
ε	Emissividade;
γ	Massa volúmica (kg/dm ³);
φ	Ângulo de desfase.
ν	Coefficiente de Poisson;
η	Coefficiente de dilatação linear (mm.°C).

Capítulo 1
Introdução

Capítulo 1

1. Introdução

- 1.1. Enquadramento do tema**
- 1.2. Objectivos**
- 1.3. Organização da dissertação**
- 1.4. Terminologia e definições**

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

Presentemente exerço função de engenheiro numa empresa de construção que desenvolve actividade nas novas formas de produção de energia. O interesse que tenho pela energia em geral e pela tecnologia de fachadas em particular, levou-me a optar por um tema directamente relacionado com a minha área de actuação.

A energia fotovoltaica é a energia obtida através da conversão directa da luz do sol em electricidade e pode ser explicada pela própria descrição da palavra “fotovoltaico” que é a união da palavra “foto” que significa luz com a palavra “voltaico” que significa electricidade. As tecnologias fotovoltaicas são utilizadas para converter a energia solar (luz) em electricidade.

A tecnologia fotovoltaica aplicada a fachadas que irei estudar, será uma das mais importantes num futuro próximo, pois alia a componente estética dos edifícios com a sua sustentabilidade energética. Apresenta um grande compromisso com o desenvolvimento da energia solar em meio urbano, com especial atenção na sua integração arquitectónica. As fachadas com esta tecnologia, para além de funcionarem como isolamento e aproveitamento da luminosidade natural, produzem energia solar fotovoltaica, respeitam o meio ambiente e possuem um grande sentido estético e aproveitamento energético que as transformam em obras diferenciadas de arquitectura sustentável.

Nesta linha, o desenvolvimento de projectos emblemáticos de alta qualidade de integração, onde os cidadãos, com exemplos muito próximos a eles, possam convencer-se das possibilidades desta tecnologia e melhorar a sua consciência ambiental, é uma das linhas de actuação que melhores resultados tem proporcionado nas cidades mais avançadas na matéria. Tem sido nos edifícios públicos, que se tem actuado numa primeira instância.

Um contributo importante no desenvolvimento desta tecnologia tem sido dado pela mais recente regulamentação no domínio da térmica de edifícios, que veio conferir grande importância à integração e utilização de sistemas baseados em energias renováveis, o que poderá melhorar a qualidade e conforto nos edifícios e a produção mais limpa de energia.

O novo regime económico também pretende reconhecer as vantagens que oferecem as instalações integradas em edifícios, quer seja em fachadas ou em coberturas, pelas suas

vantagens como gerações distribuídas, porque não aumentam a ocupação do território e pela sua contribuição na difusão social das energias renováveis.

1.2. Objectivos

Um dos principais objectivos deste trabalho é incentivar e divulgar a utilização da tecnologia fotovoltaica. As pessoas, possuindo algum conhecimento e vendo obras realizadas nesta tecnologia, mais facilmente reconhecem as possibilidades da sua utilização.

Outro objectivo muito importante é identificar e compreender “in situ” as dificuldades construtivas da instalação de uma fachada fotovoltaica e clarabóias acompanhando directamente uma obra que está a decorrer.

Outro dos objectivos é avaliar a viabilidade técnica e económica da utilização da instalação de painéis de vidro para produzir energia fotovoltaica na fachada do caso em estudo, estudar alternativas para a produção de energia do edifício existente e com estes resultados poder tirar algumas conclusões acerca do uso desta tecnologia em edifícios.

1.3. Organização da dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos e 8 anexos. No Capítulo 1 é apresentada a terminologia técnica relacionada com o trabalho, desde os sistemas as fachadas de alumínio, o vidro, a energia, a instalação e os módulos fotovoltaicos. Neste capítulo, de forma a proporcionar alguma informação complementar mais detalhada, foi criado o Anexo A - Terminologia e definições.

No Capítulo 2 são abordados e listados, os principais materiais constituintes de uma fachada fotovoltaica, o alumínio (os perfis de alumínio e os tratamentos superficiais a aplicar), o vidro utilizado na construção em geral e o vidro fotovoltaico em particular, as células fotovoltaicas e os módulos fotovoltaicos, com a apresentação dos requisitos necessários para a homologação dos módulos fotovoltaico e também os sistemas fotovoltaicos utilizados nos edifícios. Neste capítulo foi criado o Anexo B - Qualificação da concepção e homologação de módulos fotovoltaicos.

No Capítulo 3 identifica-se e sintetiza-se a legislação essencial aplicável a fachadas de alumínio e vidro, a instalações fotovoltaicas, a produção de energia e comportamento térmico de edifícios.

No Capítulo 4 é apresentado o estudo prático, é analisada a execução da obra eleita, desde o seu estudo em fase de projecto até à sua conclusão. Desenvolve-se o estudo da solução de

fachada aplicada, a fachada VEC respirante fotovoltaica e explicada a elaboração do parecer técnico de aprovação do sistema.

É elaborado um esclarecimento de todo o projecto de execução da fachada, passando pela estrutura de alumínio, pelo vidro e ainda a apresentação de situações imprevistas que surgiram no desenvolvimento do projecto.

É explanado todo o projecto de instalação fotovoltaica, com a enumeração de todos os componentes e materiais que fazem parte deste projecto, desde a estrutura de suporte, com todas as condicionantes para a instalação de um gerador fotovoltaico, o gerador fotovoltaico constituído pelos módulos fotovoltaicos, os inversores e o sistema de monitorização. É ainda desenvolvida uma descrição de todas as conexões e ligações e todos os processos e vertentes com elas relacionados, a conexão da instalação fotovoltaica à rede eléctrica, as protecções eléctricas, a contagem de energia, a ligação à terra e as canalizações eléctricas.

Ainda no âmbito do projecto fotovoltaico, são apresentados os cálculos que deram origem à secção dos cabos (corrente contínua e alternada) e é efectuado o estudo da produção energética.

No âmbito económico é realizado um estudo de viabilidade e é avaliado o período de recuperação do investimento.

No final deste capítulo, são efectuadas simulações ao projecto, uma colocando a fachada na sua orientação óptima e outro considerando que houve diminuição da área de fachada e aumento da área de clarabóias.

Neste capítulo foram criados 6 anexos: Anexo C - Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”; Anexo D - Alçados e cortes da fachada e clarabóia; Anexo E - Identificação de vidros; Anexo F - Funcionamento dos vidros com estore; Anexo G - Ligações e conexões fotovoltaicas, Anexo H – Protecções eléctricas e Anexo I – Canalizações eléctricas.

No Capítulo 5 efectua-se um resumo do trabalho efectuado e ainda se procede à avaliação dos resultados obtidos.

Finalmente, no Capítulo 6 apresentam-se as principais referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

1.4. Terminologia e definições

Nesta área há um conjunto de termos técnicos que importa dominar. É fundamental apresentar os conceitos relativos a sistemas de fachadas de alumínio e dos associados à tecnologia

fotovoltaica, para que, ao longo do trabalho se percebam todos os termos utilizados. Para este efeito, os diversos termos foram extraídos de vários documentos técnicos desta área [1,2].

Nesta explanação que se encontra no Anexo A, os termos serão divididos em 5 aspectos: sistemas de fachadas de alumínio, vidro, energia primária, instalação e módulos fotovoltaicos.

Capítulo 2
Fachadas Fotovoltaicas

Capítulo 2

2. Fachadas Fotovoltaicas

2.1. Materiais e componentes

2.1.1. Alumínio

2.1.1.1. Perfis de alumínio

2.1.1.2. Processo de anodização

2.1.1.3. Processo de lacagem

2.1.2. Vidro

2.1.2.1. Vidro fotovoltaico

2.1.3. Células fotovoltaicas

2.2. Módulos fotovoltaicos

2.2.1. Concepção e homologação de módulos fotovoltaicos

2.3. Sistemas fotovoltaicos para edifícios

2. FACHADAS FOTOVOLTAICAS

2.1. Materiais e componentes

Nesta secção são dados a conhecer os principais materiais e componentes que constituem uma fachada fotovoltaica: o alumínio; o vidro e as células fotovoltaicas. Há outros componentes presentes numa fachada fotovoltaica, no entanto, estes são os principais.

Apresenta-se o alumínio como elemento e como material para a construção na forma de perfis ou de chapas e são analisados os dois principais tipos de tratamentos superficiais que o alumínio pode ter: a anodização e a lacagem.

Desenvolve-se uma análise dos vidros utilizados na construção em geral e dos vidros fotovoltaicos em particular incluindo a descrição das suas propriedades.

São ainda analisadas as células de silício cristalino (1ª Geração), as monocristalinas e as policristalinas.

2.1.1. Alumínio

O alumínio é um elemento muito abundante na crosta terrestre, onde aparece sob variadíssimas formas, sendo as bauxites (óxidos hidratados de alumínio $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), os minérios mais utilizados na sua produção industrial.

Estes minérios contêm cerca de 40 a 60% de óxido de alumínio (alumina), sendo a restante parte formada por impurezas, tais como óxidos de ferro, de silício de cálcio e de titânio.

A recuperação do alumínio, do seu minério, faz-se através dum processo electroquímico em que a alumina é dissolvida num electrólito de fusão e em seguida é estabelecido um circuito eléctrico em que a corrente passa pelo electrólito, promovendo a deposição e solidificação do alumínio metálico no cátodo [3].

O alumínio tecnicamente puro, é um metal leve, de cor branca, pouco duro, muito deformável, com elevada condutibilidade eléctrica e térmica e com baixo ponto de fusão. Não é tóxico, não produz ignição e não é magnético.

Devido ao seu elevado poder redutor, oxida-se ao ar, formando exteriormente uma finíssima camada de alumina, que o protege contra a corrosão, nomeadamente da água destilada, do ácido nítrico, do ácido carbónico, dos compostos de enxofre e de muitos hidrocarbonetos,

óleos e substâncias orgânicas. No entanto, é atacado pela água do mar e pelas bases alcalinas (sódio e potássio) e por alguns óxidos como o ácido clorídrico e o fluorídrico.

O alumínio forma ligas principalmente com o cobre, com o silício, com o magnésio, com o manganês e ocasionalmente com o zinco, níquel e cobre.

Na generalidade, a adição de metais ao alumínio, visa o aumento da resistência à tracção de cedência e dureza, a correspondente redução do alongamento e a melhoria das propriedades anticorrosivas. Nas fundições de alumínio, os elementos de liga visam também a facilidade de moldagem.

A melhoria das propriedades mecânicas pode também ser levada a cabo por tratamentos térmicos e mecânicos.

O cobre é o principal elemento de liga do alumínio. É usado em percentagens até 4%, em ligas de conformação plástica e até 8% em ligas de fundição. O cobre reduz a contracção e permite o encruamento por envelhecimento das ligas, cuja resistência à corrosão é muito fraca.

O silício é também bastante usado, principalmente em ligas para fundição, pois reduz a contracção, aumenta a fluidez, aumenta a resistência à corrosão, tem um menor coeficiente de expansão térmica, elevada condutibilidade térmica e apresenta também uma elevada tenacidade. O silício, que raramente excede o teor de 14% na liga, é também usado como elemento de liga secundário nas ligas AlMg, permitindo a precipitação do silicato de magnésio (MgSi), como agente endurecedor.

O magnésio que é ligado ao alumínio em teores de 1 a 10%, torna a liga mais leve que o alumínio isolado, permite boas propriedades mecânicas, boa resistência à corrosão e é facilmente maquinável. O Mg tem a máxima solubilidade a 452°C, atingindo 14,9% e reduzindo-se até cerca de 2% à temperatura ambiente [3].

2.1.1.1. Perfis de alumínio

Os perfis de alumínio que se utilizam nas fachadas e caixilharias são geralmente extrudidos em liga de alumínio A.G.S (alumínio, magnésio e silício), apresentando uma dureza superficial mínima de acordo com a norma EN 1706 [4]. Os perfis devem ser escolhidos de modo a que os esforços a que vão estar sujeitos sejam compatíveis com a sua rigidez.

Todos os acessórios utilizados devem ser fabricados em alumínio ou materiais que não entrem em reacção electrolítica com o alumínio. As peças de ligação devem ser indeformáveis e não visíveis, ou então à mesma cor e especificações referidas para os perfis, devendo a sua fixação processar-se através de parafusos de aço inoxidável.

As juntas utilizadas devem ser vedantes e apresentar resistência a elevadas temperaturas e garantia contra envelhecimento.

A utilização de perfis de alumínio em fachadas é do ponto de vista técnico, muito apropriada, pela reduzida massa volúmica deste material, $\gamma = 2,65 \text{ kg/dm}^3$. Deve ter-se em conta os valores resistentes das tensões de rotura à tracção e à compressão. O baixo valor do módulo de elasticidade E , obriga em regra, a dimensionar os perfis de alumínio por razões de deformação e não de resistência.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores característicos dos perfis de alumínio utilizados em fachadas e caixilharias.

Tabela 1. Valores característicos das propriedades físicas e mecânicas dos perfis de alumínio.

Material	Tensão de cedência f_{yk} N/mm ²	Propriedades				
		Peso g kN/m ³	E N/mm ²	Coef. de Poisson (ν)	G N/mm ²	η mm. °C
Alumínio	260	2800	$0,72 \times 10^5$	0,4	$0,26 \times 10^5$	24×10^{-6}

2.1.1.2. Processo de anodização

A anodização é um processo electrolítico de tratamento da superfície do alumínio. A anodização promove a formação de uma camada uniforme de óxido de alumínio na superfície do alumínio, convertendo a superfície do alumínio numa superfície extremamente dura, melhorando a sua estética e protegendo-o contra a corrosão, a abrasão ou outro ataque do meio ambiente (ar salino, fumo industrial, etc), conferindo-lhe resistência à oxidação e torna o alumínio não condutor de electricidade [5].

A anodização confere ao alumínio maior durabilidade, a maior parte dos produtos anodizados têm um tempo de vida extremamente longo oferecendo vantagens significativas do ponto de vista de manutenção, torna as superfícies fáceis de limpar com água, detergente neutro e álcool, restaurando a aparência original, oferece estabilidade à cor, o exterior da camada anódica é bastante estável aos raios ultravioleta sem lascar nem descascar. Ao nível da estética a anodização oferece um largo leque de polimentos e de colorações e permite manter o aspecto metálico da peça. No que respeita à segurança a anodização é segura para a saúde, e é estável do ponto de vista químico, não se decompõe, não é tóxica e é resistente à temperatura [6].

As espessuras das camadas anódicas devem ser solicitadas em função da agressividade do meio ambiente, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Espessura da camada anódica em função da agressividade do meio ambiente [5].

Camada Anódica (micron)	Zona	Agressividade do Meio Ambiente
11 a 15	Urbana / Rural	Média
16 a 20	Marítima	Alta
21 a 25	Industrial	Excessiva

Antes de se executar o processo de anodização é importante averiguar se as ligas de alumínio possuem características adequadas ao processo de anodização.

Devem-se ter cuidados especiais com o manuseamento, transporte e armazenamento do alumínio.

É executado um pré-tratamento na superfície do alumínio, que compreende as etapas de desengraxamento, fosqueamento e neutralização, antes de se proceder à anodização.

Depois de executado o pré-tratamento passa-se à fase de anodização, onde se dá a formação da camada de óxido de alumínio através de um processo electrolítico. De seguida, avança-se para a fase de coloração, que consiste na deposição electrolítica de sais metálicos ou absorção de corantes que são usados para colorir a camada de óxido de alumínio. No final executa-se a selagem que consiste no preenchimento dos poros da camada anódica através da hidratação do óxido de alumínio [5].

No final do processo de anodização, pode haver pequenas diferenças de tonalidade entre os vários perfis de alumínio que foram anodizados. Tem de se estabelecer uma tolerância das variações das tonalidades, indicando quais os padrões mínimos e máximos de tonalidades admissíveis. Tem de ser indicado o processo de coloração a ser utilizado, isto é, coloração electrolítica ou por corantes.

Os padrões de qualidade a ser adoptados devem estar em conformidade com as normas ISO listadas na Tabela 3.

Tabela 3. Normas ISO de qualidade [5].

ISO 2360	Espessura
ISO 2931	Impermeabilidade
ISO 2143	Dye Stain
ISO 3210	Perda de Massa
ISO 6581	Solidez à luz

As normas mencionadas são instrumentos suficientes para a determinação da conformidade dos produtos anodizados.

A determinação dos níveis de amostragem e aceitação e os níveis de qualidade aceitáveis devem ser acordados previamente.

Devido à propriedade anfótera (propriedade de uma substância que possui características ácidas e básicas conforme o meio em que se encontra) do óxido de alumínio formado durante a anodização, deve-se evitar o contacto com argamassas, cimento, massas de reboco e resíduos aquosos destes materiais, e com produtos ácidos.

Devem-se ter cuidados especiais, nas situações em que a montagem de caixilhos ou fachadas se efectuar na altura da fase de reboco, pois há o risco de escorrimento dos resíduos aquosos do reboco que podem causar danos irreversíveis em contacto com as superfícies anodizadas. Como precaução devem-se utilizar películas em PVC (policloreto de vinilo) que resistam aos raios solares.

Sendo comum o uso de alguns ácidos como agentes de limpeza em fase de acabamento de obra, todo o alumínio que está próximo deve ser protegido, pois o ataque destes produtos pode remover a anodização do alumínio.

As peças anodizadas devem ser protegidas (embaladas) com produtos adequados até que se eliminem os riscos de se poder danificar a anodização.

Para conservação e limpeza das peças anodizadas, deve ser aplicado um detergente neutro com uma esponja macia. Não se devem utilizar ferramentas e materiais que possam danificar a camada anódica, facas, palhas de aço, lixas, etc.

Como zonas marítimas (Cloro, Cl) e zonas industriais (Enxofre, S), são zonas de alta agressividade, a deterioração da camada anódica dependerá do nível e frequência da limpeza, pois a deposição de detritos aumenta as condições de corrosão provocadas pelo cloro e enxofre [5].

A frequência de limpeza deverá obedecer ao critério exposto na Tabela 4.

Tabela 4. Frequência de limpeza do alumínio [5].

Zona Marítima	1 mês
Zona Industrial	6 meses
Zona de baixo risco de agressão	18 meses

2.1.1.3. Processo de lacagem

A lacagem consiste na aplicação electrostática de uma pintura em pó à superfície do alumínio, carregado electricamente com sinal contrário ao suporte, sendo atraído pela superfície do perfil, fundindo-se e polimerizando num forno.

O alumínio antes de ser lacado tem que ser tratado para modificar a superfície do alumínio (oxidação electroquímica) com a intenção de proporcionar uma maior protecção e imobilização do alumínio a lacar.

A lacagem permite uma grande variedade de cores, texturas ou imitações a madeiras ou pedras.

O alumínio lacado pode ser reparado de forma aceitável quando se produzem deteriorações ou pequenos arranhões. Existem produtos de reparação de lacagem para alumínios em quase todas as cores e massas de enchimento [7].

O processo de lacagem é constituído pelas seguintes etapas [8]:

1. Desengorduramento em ácido a quente: durante esta etapa acondiciona-se e limpa-se o metal de óleos, gorduras e impurezas que possam apresentar, mediante um tratamento de desengorduramento ácido a 35°C de temperatura de banho. O material deve permanecer submerso no banho à volta de 20 minutos. Para alcançar a concentração adequada adiciona-se um desengordurante de carácter ácido que lustra ligeiramente o alumínio como tratamento prévio ao cromado;
2. Desengorduramento em ácido a frio: este banho encontra-se a temperatura ambiente e o material deve permanecer submerso no banho à volta de 20 minutos. Tal como no banho anterior, para alcançar a concentração adequada adiciona-se um desengordurante de carácter ácido que lustra ligeiramente o alumínio como tratamento prévio ao cromado;
3. Lavagem do desengordurante: este banho encontra-se a temperatura ambiente e a condutividade deve ser inferior a 600 μ S/cm. Este banho de lavagem está submetido a um processo de limpeza contínuo mediante um sistema em cascata;
4. Cromagem: formação de uma capa de cromagem sobre o metal, por imersão em banho de crómio a temperatura ambiente, para maximizar as prestações de resistência à corrosão. O material deve permanecer submerso no banho à volta de 30 a 180 segundos;
5. Lavagem da cromagem: Este banho encontra-se a temperatura ambiente e a condutividade deve ser inferior a 300 μ S/cm. Tal como a lavagem anterior de desengorduramento, encontra-se submetido a um processo de limpeza contínuo mediante um sistema em cascata. É o acondicionamento final em banhos de lavagem com água de rede para evitar qualquer possível transporte de impurezas na superfície do metal;
6. Lavagem com água desmineralizada: este banho encontra-se a temperatura ambiente e a condutividade deve ser inferior a 20 μ S/cm; quando se supera este valor procede-se à repetição do banho. Esta fase seria o acondicionamento final em banhos de lavagem com água desmineralizada;

7. Secagem no forno: o material é introduzido num forno para secar a 65°C, em períodos compreendidos entre 30 a 60 minutos, dependendo do grau de humidade que apresente o metal;
8. Cabines de pintura: Uma vez o material seco procede-se à sua lacagem no interior das cabines de pintura. Estas cabines estão equipadas com um conjunto de pistolas, as quais, de forma totalmente automática, se encarregam de injectar e fixar por electrodeposição sobre a superfície do metal, a pintura em pó. A pintura em pó que se utiliza, dispõe dos mesmos componentes que uma pintura convencional, mas sem incorporar o dissolvente. Esta pintura é constituída de pigmentos e cargas, aditivos e essencialmente resinas, as quais conferem a formação da película contínua e sólida de pintura, bem aderida à superfície e actuando de barreira perante a humidade. Na Figura 1 encontra-se representada uma cabine de pintura de lacagem.



Figura 1. Cabines de pintura de lacagem.

9. Forno de polimerização: uma vez a pintura em pó depositada sobre a superfície do material, este é introduzido num forno de polimerização durante 35 minutos a 220°C. Nele, as resinas que contêm a pintura em pó, polimerizam-se e fundem-se, formando essa película contínua e sólida de pintura.

Num processo de lacagem comum a superfície do alumínio fica com maior micragem de protecção em relação a uma superfície anodizada com uma anodização comum. A diferença da lacagem para a anodização é que na anodização, como é um processo electrolítico, dá-se a formação de uma camada uniforme de óxido de alumínio na superfície do alumínio, e na lacagem é aplicada uma pintura electrostática em pó na superfície do alumínio. A escolha de

um processo ou outro depende principalmente de critérios estéticos, sendo que na lacagem a gama de cores disponível é muito superior à anodização.

2.1.2. Vidro

Os vidros silício-sodo-cálcicos utilizados correntemente na construção são compostos de [2]:

- ✓ Um vitrificante, a sílica, introduzida sob a forma de areia (70 a 72%);
- ✓ Um fundente, a soda, sob a forma de carbonato e sulfato (cerca de 14%);
- ✓ Um estabilizante, o óxido de cálcio, sob a forma de calcário (cerca de 10%).

Vários outros óxidos, tais como o alumínio e o magnésio, melhoram as propriedades físicas do vidro, especificamente a resistência à acção dos agentes atmosféricos. Para determinados tipos de vidro, a incorporação de diversos óxidos metálicos permitem a sua coloração.

A densidade do vidro é de $2,5\text{kg/m}^2/\text{mm}$, o que dá uma massa de $2,5\text{kg}$ por cada m^2 e por cada mm de espessura para os vidros planos [2].

A resistência do vidro à compressão é muito elevada, é de 1000MPa [2].

Um vidro submetido à flexão tem uma face em compressão e uma face em tracção. A resistência à rotura em flexão é na ordem dos [2]:

- ✓ 40MPa para um vidro polido recozido;
- ✓ 120 a 200MPa para um vidro temperado (segundo a espessura, manufactura dos bordos e tipo de fabrico).

O vidro é um material perfeitamente elástico, nunca apresenta deformação permanente, no entanto é frágil, ou seja, submetido a uma flexão crescente, parte sem apresentar sinais antecedentes.

- ✓ O módulo de Young do vidro é de: $E = 70\text{GPa}$ [2];
- ✓ O coeficiente de Poisson, para os vidros, é de: $\nu = 0,22$ [2].

A dilatação linear é expressa por um coeficiente que mede o alongamento em unidade de comprimento por uma variação de 1°C . Este coeficiente é geralmente dado para um intervalo de temperatura de 20 a 300°C . O coeficiente de dilatação linear do vidro é de: $\eta = 9 \times 10^{-6} \text{ mm.}^\circ\text{C}$.

Os vidros normalmente utilizados em edifícios são vidros duplos de isolamento térmico e controlo solar. Este tipo de vidros apresenta um desempenho térmico elevado. As perdas

energéticas são reduzidas no Inverno e o conforto térmico é melhorado. A temperatura da área do vidro é mais elevada, o que reduz a sensação de frio e elimina os riscos de condensação. Este tipo de vidros permite ainda combater eficazmente um elevado aquecimento, pois deixa passar somente uma determinada fracção de radiação energética solar que permite iluminar sem aquecer.

O emprego dos vidros de cor é importante para resolver os problemas de encandeamento, contudo reduz sensivelmente a quantidade de luz natural transmitida [2].

2.1.2.1. Vidro fotovoltaico

O vidro fotovoltaico mais não é do que um vidro laminado extra claro (temperado ou termo-endurecido).

O vidro temperado é um vidro de segurança que é submetido a um tratamento térmico para aumentar a sua resistência. Globalmente, é cinco vezes mais resistente que um vidro corrente. A título de exemplo, um vidro temperado de 8mm resiste a uma queda de uma esfera de aço de 500gr caindo de uma altura de dois metros. Protege as pessoas contra o risco de ferimentos. Em caso de quebra, fragmenta-se em pequenos pedaços não cortantes [2].

O vidro termo endurecido é um vidro submetido a um tratamento térmico especial. Este tratamento confere-lhe resistência a solicitações mecânicas e térmicas acima das de um vidro recozido normal. Quando se fragmenta forma estilhaços de grandes dimensões. Tem um risco reduzido de fractura por choque térmico e tem um baixo risco de fractura espontânea [2].

O vidro laminado é um vidro de segurança que é composto por dois ou mais painéis de vidro, agregados entre si graças a um, ou vários, filmes de butiral polivinil (PVB). Estes dois ou mais painéis de vidro podem ser termo-endurecidos ou temperados. Em caso de rotura do vidro, os filmes de PVB mantêm os fragmentos agregados [2].

O vidro extra claro é um vidro extremamente transparente e que apresenta uma coloração residual muito ténue. É um vidro com propriedades estéticas e ópticas muito particulares, onde é o seu baixo teor em óxidos de ferro que lhe confere uma transparência extrema [2].

Estes vidros obtêm a máxima transparência com o fim de permitir a transmissão de luz.

Quanto à espessura, actualmente os módulos fotovoltaicos são laminados com um vidro de 3mm de espessura (esta é a dimensão padrão utilizada por toda a indústria). O uso desta espessura limita as dimensões do módulo em termos de flexibilidade e rotura [9].

Seja com simples ou dupla cristalização, as células fotovoltaicas alcançam altas temperaturas devido entre à sua cor escura, fazendo com que os vidros utilizados sejam normalmente temperados ou termo-endurecidos.

2.1.3. Células fotovoltaicas

As células de silício cristalino (1ª Geração), ainda são a tecnologia que domina o mercado. Hoje, 90% dos geradores fotovoltaicos instalados no mundo são feitos à base de silício cristalino. Dentro destes, o silício monocristalino é o mais antigo, e é utilizado em todo o tipo de aplicações terrestres de média e elevada potência.

Características das células de silício monocristalino (um único cristal) [10]:

- ✓ Eficiência: 15 – 18% (silício de Czochralski);
- ✓ Forma: São produzidas células redondas, semi-quadradas ou quadradas, dependendo da quantidade que é estriada do cristal único. As células redondas são mais baratas do que as semi-quadradas ou as quadradas, uma vez que se perde menos material durante a sua produção. No entanto, raramente são utilizadas em módulos standards devido à sua exploração ineficaz do espaço. Para módulos especiais, utilizados em sistemas de integração em edifícios, para os quais é desejável algum grau de transparência, ou para sistemas solares domésticos, as células redondas poderão constituir uma boa alternativa.

Na Figura 2 encontram-se representadas as várias formas das células monocristalinas;

- ✓ Tamanho: Maioritariamente 10x10cm² ou 12,5x12,5cm², diâmetro 10, 12,5 ou 15cm;
- ✓ Espessura: 0,3mm;
- ✓ Estrutura: Homogénea;
- ✓ Cor: Gama de azul-escuro para preto (com anti-reflexão - AR), cinza (sem anti-reflexão);

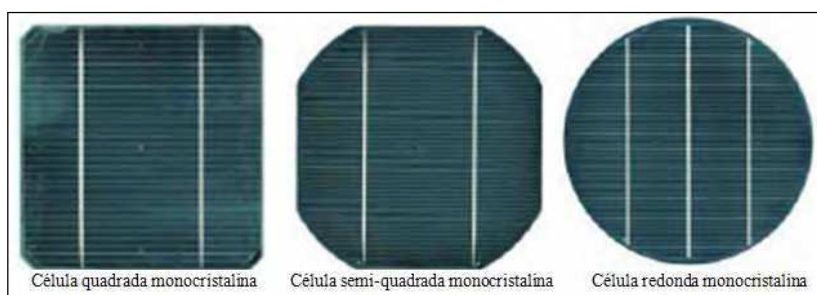


Figura 2. Células fotovoltaicas de silício monocristalino [10].

O silício multicristalino (ou policristalino) é uma alternativa um pouco mais económica, mas também menos eficiente.

Características das células de silício policristalino [10]:

- ✓ Eficiência: 13-15% (com AR);
- ✓ Forma: Quadrada;
- ✓ Tamanho: 10x10cm², 12,5x12,5cm² e 15x15cm²;
- ✓ Espessura: 0,3mm;
- ✓ Estrutura: Durante a fundição do bloco, formam-se cristais com várias orientações. Os cristais individuais podem ser facilmente vistos na superfície (padrão estrutural semelhante a cristais de gelo), devido ao efeito criado pela diferente reflexão da luz;
- ✓ Cor: azul (com AR), cinza prateada (sem AR). Na Figura 3 encontram-se representadas as várias cores das células policristalinas.



Figura 3. Células fotovoltaicas de silício policristalino [10].

2.2. Módulos fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é composto pelos seguintes componentes [9]:

1. Base de alumínio anodizado ou lacado, com os seus correspondentes furos para se poder fixar a uma estrutura;
2. Junta em borracha ou resina;
3. Parte Frontal: vidro temperado ou termo-endurecido com baixo teor em ferro;
4. Cápsula: filmes de butiral polivinil (PVB) ou polímeros transparentes, isolantes e termoplástico (espuma vinílica acetinada - EVA);
5. Células fotovoltaicas;
6. Cobertura posterior: vidro de segurança ou pode ser utilizada uma película de “Tedlar” (fluoreto de polivinil - PVF) que pode ser opaca ou transparente. Esta última é mais usada em projectos de integração arquitectónica, uma vez que permite que a luz atravesse os espaços entre as células, provocando efeitos estéticos muito diversos.

A dimensão de um módulo fotovoltaico varia em função de muitos factores; oscilando entre 600x400mm e 1600x1000mm, dependendo do número de células que integre. O principal

problema dos módulos fotovoltaicos é a sua integração de acordo com as dimensões requeridas pelo projectista. Actualmente e de acordo com o actual a actual tecnologia, a indústria nem sempre consegue oferecer as dimensões requeridas pelo projecto. A solução mais imediata é modelar a fachada considerando desde o início as dimensões que têm os módulos existentes no mercado [9].

No caso de se pretender usar módulos em fachadas de edifícios, a espessura do vidro fotovoltaico é um desafio acrescido, uma vez que para uma espessura tão pequena de vidro, os requisitos regulamentares térmicos e acústicos são mais difíceis de cumprir. Para tal existem duas soluções [9]:

1. Integrar os módulos na parte exterior de um sistema de dois caixilhos de vidro (caixilho interior com vidro, câmara-de-ar, caixilho exterior com vidro fotovoltaico);
2. Fabricar módulos vidro-vidro com a espessura apropriada às cargas aplicadas.

O peso de um módulo fotovoltaico varia em função do modelo, entre os 10 e 15kg/m², aspecto a ter em conta na quantificação de cargas externas no cálculo estrutural [9].

2.2.1. Concepção e homologação de módulos fotovoltaicos

Nesta fase pretende-se explicar os requisitos a que um módulo fotovoltaico tem de obedecer para ser homologado. A norma que estabelece os requisitos para a qualificação e concepção de módulos fotovoltaicos é a Norma Europeia EN 61215 de Maio de 2005 [11].

O objectivo da sequência de ensaios exigidos nesta norma, é determinar as características eléctricas e térmicas do módulo e justificar, dentro da medida do possível, com as limitações razoáveis de custo e tempo, que o módulo é capaz de suportar exposições prolongadas nos climas descritos na norma. O tempo de vida real esperado dos módulos dependerá do seu dimensionamento e das condições ambientais e de trabalho em que se esteja a trabalhar.

O procedimento da sequência de ensaios de qualificação e o fluxograma da sequência de ensaios de qualificação encontram-se no Anexo B.

2.3. Sistemas fotovoltaicos para edifícios

Se pensarmos nas opções de integração, do ponto de vista concepcional existem dois grandes níveis de actuação [9]:

1. Integração na “arquitectura construída”, em que o resultado final pode não ser o desejado, pois os módulos fotovoltaicos estão condicionados pelas medidas, pois não podem ser fabricados em todas as medidas pretendidas pela arquitetura, e podem não se adaptar bem à arquitetura existente;
2. A integração no “projecto arquitectónico”, considerando a dita integração como um aspecto adicional de projecto, como é o caso dos requisitos estruturais, funcionais ou estéticos e, portanto com maiores garantias de se conseguir uma integração aceitável da instalação fotovoltaica.

Do ponto de vista tipológico geralmente poder-se-iam classificar as distintas integrações em edifícios de acordo com o tipo de superfície destinada a receber a instalação fotovoltaica [9]:

✓ Integração em coberturas inclinadas:

- Integrando os painéis de forma sobreposta à cobertura existente;
- Cobrindo a cobertura fixa com os painéis fotovoltaicos;

✓ Integração de painéis fotovoltaicos em coberturas planas:

- Integrando os painéis inclinados através de estruturas simplesmente apoiadas;
- Cobrindo uma superfície paralela ao plano da cobertura;

✓ Integração em fachadas:

- Integração em pára-sóis;
- Integração em planos cegos (fachadas ventiladas);
- Integração em fachadas cortina, paredes de vidros ou grandes superfícies vidradas.

O acrónimo que se utiliza hoje em dia para descrever a nova geração de produtos é o acrónimo BIPV, que significa Built-In Photovoltaics e diz respeito a uma nova geração de produtos que produzem energia fotovoltaica que podem ser introduzidos na construção de edifícios, seja através dos vidros em fachada ou através do tecto em módulos solares ou telha fotovoltaica. Qualquer projecto que preveja dispositivos de sombreamento (palas) pode igualmente ser produzido sob o conceito do BIPV, tendo em conta que ao fazer sombra, pois o sol está a incidir nos painéis, está a absorver energia solar, o que pode significar uma redução de custos da factura energética importante.

A maior diferença dos produtos de BIPV para os tradicionais módulos fotovoltaicos reside no seu carácter estético, com a aplicação de forma harmoniosa na construção ou integração em edifícios, sendo materiais de peso inferior e com imensas possibilidades de utilização [12].

Capítulo 3
Normalização e Legislação

Capítulo 3

3. Normalização e Legislação

3.1. Sistemas de fachadas de alumínio e vidro

3.2. Instalação fotovoltaica

3.3. Produção de energia

3.4. Desempenho energético e comportamento térmico de edifícios

3. NORMALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO

3.1. Sistemas de fachadas de alumínio e vidro

Norma Europeia EN 13022-1 de 30 de Junho de 2006 - Vidro em edifícios. Vidro estrutural selante. Parte 1: Acções, exigências e terminologia [13].

Esta norma é referente a vidro em edifícios, vidro estrutural selante, produtos vítreos para sistemas de vidro selante estrutural em vidros monolíticos ou duplos com ou sem suporte.

Faz referencia somente ao sistema de silicone estrutural empregue com perfis de alumínio anodizado ou sobre outros perfis metálicos conformes os requisitos determinados nas normativas. Não abrange certas classes de vidro (vidros impressos, vidro plano armado, serigrafados, etc.).

Norma Europeia EN 13119 de 31 de Maio de 2007 - Fachadas Cortina. Terminologia [14].

Esta Norma Europeia descreve a terminologia usada nos documentos, desenhos, especificações, etc., quando se referem os elementos de fachada cortina, e possibilita uma compreensão da lista dos principais termos utilizados em fachadas. Não pretende repetir as definições devidamente incluídas nas normas específicas de fachada cortina relacionadas com requisitos de desempenho e métodos de ensaio associados.

Norma NF A91-450 - Anodização de alumínio e de suas ligas. Especificações gerais de revestimentos de óxido anódicos em alumínio [15].

Norma NF EN 755-2 de Julho de 2008 - Alumínio e ligas de alumínio. Barras, tubos e perfis extrudidos. Parte 2: características mecânicas [16].

Esta norma especifica os limites das características mecânicas provenientes dos ensaios de tracção aplicados a barras, tubos e perfis extrudidos de alumínio e ligas de alumínio.

Norma NF EN 14351-1 de Junho de 2006 - Janelas e portas - Norma de produto, características de desempenho. Parte 1: janelas e portas exteriores para peões sem características de resistência ao fogo e/ou desempenho a acção de fumos [17].

Esta norma determina as características de desempenho, independentemente dos materiais, que são aplicáveis às janelas (incluindo janelas de telhado, janelas de tecto resistentes a

incêndios exteriores e portas-janelas) e às portas exteriores para peões (incluindo portas de vidro e portas de saída de emergência) e conjuntos compostos.

Norma NF P20-302 de Maio de 2008 - Janelas: Características [18].

Esta norma visa estabelecer classificações e os critérios para janelas e portas quando submetido aos ensaios definidos na norma NF P20-501 e as normas europeias correspondentes. Este documento aplica-se a todas as janelas conforme descrito na norma NF EN 14351-1. É dividido em duas partes, uma refere as classificações e os critérios estabelecidos pelas normas europeias publicadas ou de iminente publicação, e a segunda, especifica as características das janelas sujeitas a testes adicionais não abrangidos pelas normas europeias.

Norma NF P20-501 de Maio de 2008 - Métodos de ensaio de janelas [19].

Esta norma visa desenvolver métodos e procedimentos de ensaio aplicáveis às janelas e portas. Estes ensaios são projectados para determinar as características de janelas fabricadas ou não em série por determinação da sua permeabilidade ao ar, estanquidade à água, resistência ao vento e o seu desempenho mecânico. Quando a janela tem folhas com sistemas de abertura diferentes, cada uma das suas folhas, é testada para o seu sistema de abertura.

Norma NF P24-301 de Agosto de 1980 - Especificações técnicas de janelas, portas-janelas e aros fixos [20].

Esta norma aplica-se a janelas feitas por combinações de perfis especiais. Aplica-se a janelas compostas e aplica-se particularmente às janelas metálicas tradicionais (considera-se tradicional uma janela constituída por um quadro fixo ou várias folhas de abertura ou fixas destinadas a receber um vidro correspondente aos tipos de abertura, e com o quadro fixo projectado para ser instalado ou não num pré-aro).

Estas janelas podem utilizar para o seu funcionamento ou a sua vedação, acessórios ou perfis complementares, de metal ou de materiais plásticos de estabilidade e durabilidade satisfatórios, uma vez que eles podem ser substituídos "in situ" e a sua alteração prevista não afectar a segurança do usuário.

Norma NF P78-201 - Trabalhos em edifícios. Vidros espelhados e trabalhos em envidraçados [21].

Esta norma estabelece as exigências e os métodos de determinação dos vidros planos não orgânicos utilizados no exterior de edifícios e susceptíveis de estarem expostos à insolação ou expostos aos efeitos de aquecimento dos materiais. Avalia o gradiente térmico dos vidros de isolamento exterior e interior e o risco de rotura térmica.

Norma NF P85-301 - Vedações pré-formadas usadas em fachadas ligeiras. Materiais constituídos de borracha [22].

Esta norma refere-se às juntas de vedação, à base de borracha sintética, natural ou de neoprene.

Norma PR EN 13120 - Persianas interiores - Exigências de desempenho [23].

Esta norma aplica-se a persianas interiores, persianas de janelas e persianas de rolo. Refere as características de sombreamento, dimensões, comportamento, medidas de segurança, testes de comportamento e partes de sistemas de construção.

Norma SNJF (Syndicat national des joints et façades) VEC - Aprovação para selantes à base de silicone em colagem estrutural e vidro [24].

Norma XP P24-400 - Serralharias. Alumínios com corte térmico em PA (poliamida) e PU (poliuretano). Especificação [25].

Esta norma define a partir das funções das caixilharias, as especificações técnicas a serem cumpridas pelos perfis de alumínio à ruptura de ponte térmica em PA e PU. Refere a adequação dos perfis às diferentes situações, as características mecânicas mínimas (tracção, cisalhamento, fadiga, etc) dos perfis de rotura de ponte térmica (RPT), e os vários tipos de testes a que os perfis são sujeitos, testes de fadiga, testes de envelhecimento, etc.

Norma XP P28-004 - Fachadas Cortina. Exigências do desempenho da execução [26].

Define as especificações e métodos de determinação do ponto de vista de resistência mecânica, resistência ao impacto, segurança e habitabilidade.

Parecer CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) 2837 de Setembro de 1995 - Métodos de ensaio da durabilidade “ENDURO” de janelas de abertura à italiana. Janelas e fachadas sujeitas a um parecer técnico ou de um atestado de tradicionalismo [27].

Parecer CSTB 3130 - Vidros exteriores colados sujeitos a um parecer técnico, condições gerais de concepção, fabrico e execução [28].

Este parecer é aplicado fachadas cortina de edifícios de uso corrente (habitação, educação, escritórios, hospitais, etc.), para os casos em que a acção resultante correspondente à pressão normal seja inferior ou igual 1200Pa.

Parecer CSTB 3242 - Condições climáticas a considerar no cálculo das temperaturas máximas e mínimas de envidraçados [29].

RT2000 - Regulamentação térmica das novas construções [30].

A regulamentação térmica de novas construções (RT2000) é reavaliada com frequência, desenvolve-se rapidamente adapta-se e tira proveito das evoluções dos recursos e ferramentas de comunicação. Nela podem ser encontrados textos oficiais e soluções técnicas aprovadas, perguntas, respostas, fichas de aplicação e produtos certificados.

3.2. Instalação fotovoltaica

Instrução técnica ITC (Instrucción Técnica Complementaria) BT-07 - Redes subterrâneas para distribuição em baixa tensão [31].

Esta instrução define o tipo de cabos a utilizar em linhas subterrâneas, o tipo de protecção a dar aos cabos, as propriedades dos cabos, o tipo de suporte dos cabos, o tipo de canalizações e as intensidades máximas admissíveis.

Instrução técnica ITC-BT-16 - Instalações de ligação. Contadores: Localização e sistemas de instalação [32].

Esta instrução técnica é aplicável aos contadores e define a sua localização e sistemas de instalação.

Instrução técnica ITC-BT-19 - Instalações interiores ou receptoras. Prescrições gerais [33].

As prescrições contidas nesta instrução técnica estendem-se às instalações interiores dentro do campo de aplicação do artigo 2 e com tensão determinada dentro das margens de tensão fixadas no artigo 4 do regulamento electrotécnico para baixa tensão.

Instrução técnica ITC-BT-40 - Instalações geradoras de baixa tensão [34].

Esta instrução aplica-se às instalações geradoras, entendendo-se como tais, as destinadas a transformar qualquer tipo de energia não eléctrica em energia eléctrica.

Norma CEI 64-8 - Instalações eléctricas de utilização de energia a uma tensão nominal não superior a 1000 Volt em corrente alternada e a 1500 Volts em corrente contínua [35].

Esta norma é relativa ao dimensionamento, à execução e à verificação das instalações de terra.

Norma Europeia EN 61215 de Maio de 2005 - Módulos Fotovoltaicos (PV) de silício cristalino para uso terrestre. Qualificação da concepção e homologação [11].

Esta norma Europeia adopta a norma Internacional IEC (Comissão Electrotécnica Internacional) 61215 de 2005. Esta norma internacional estabelece os requisitos de IEC para a qualificação e concepção de módulos fotovoltaicos para uso terrestre adequados para operações de longa duração em ambientes exteriores. Só é aplicável a módulos de silício cristalino. Esta norma não é aplicável a módulos utilizados com luz solar concentrada.

Norma Europeia EN 61537 - Sistemas de bandeja de cabos e sistemas de escada para canalizações eléctricas [36].

Esta norma é referente a cabos eléctricos, clips para cabos, cabos de comunicação, sistemas de comunicação (edifícios), equipamentos eléctricos e sistemas de cabos eléctricos.

Norma UNE (Una Norma Española) 20324 - Graus de protecção proporcionados pelas envolventes [37].

Esta norma define o grau de protecção proporcionado pelas envolventes (código IP - índice de protecção) dos distintos materiais utilizados nas instalações eléctricas.

Norma UNE 20460-5-523 de Novembro de 2004 – Instalações eléctricas em edifícios. Parte 5: Selecção e instalação de materiais eléctricos. Secção 523: Intensidades admissíveis em sistemas de condução de cabos [38].

Os requisitos presentes nesta norma são destinados a assegurar uma duração de vida satisfatória dos condutores e dos isolamentos submetidos aos efeitos térmicos das intensidades admissíveis durante períodos prolongados, em condições normais de utilização.

Norma UNE 21123-1: 2004 - Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 1: Cabos com isolamento e cobertura de policloruro de vinilo [39].

Norma UNE 21123-2: 2004 - Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 2: Cabos com isolamento de polietileno reticulado e cobertura de policloruro de vinilo [40].

Norma UNE 21123-3: 2005 - Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 3: Cabos com isolamento de etileno-propileno e cobertura de policloruro de vinilo [41].

Norma UNE 21123-4: 2004 - Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 4: Cabos com isolamento de polietileno reticulado e cobertura de poliolefina [42].

Norma UNE 21123-5: 2005 - Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 5: Cabos com isolamento de etileno propileno e cobertura de poliolefina [43].

Norma UNE 23727 - Reacção a testes de incêndio de materiais de construção. Classificação de materiais de construção [44].

Esta norma classifica os materiais quanto à sua reacção ao fogo, ou seja, segundo o seu grau de inflamabilidade e combustibilidade. Determina os ensaios a realizar de acordo com a natureza e utilização dos materiais.

Norma UNE-EN 60439 - Conjuntos de comutadores de baixa tensão [45].

Esta norma é aplicável a conjuntos de comutadores de baixa tensão e tem como objectivo descrever as definições, as condiciones de aplicação, as disposições construtivas, as características técnicas e os ensaios.

3.3. Produção de energia

Decreto-Lei n° 33-A/2005 de 16 de Fevereiro de 2005 [46].

Garante que o fornecedor tradicional tem que comprar toda a energia ecológica produzida por um período ilimitado. A legislação garante, também, um tarifário bonificado para a venda dessa energia verde à EDP durante, pelo menos, um período de 15 anos, tornando as instalações fotovoltaicas num investimento altamente rentável.

Decreto-Lei nº 68/2002 de 25 de Março de 2002 [47].

Regula o exercício da actividade de produção de energia eléctrica em baixa tensão (BT).

Decreto-lei nº 168/99 de 18 de Maio de 1999 [48].

Revê o regime aplicável à actividade de produção de energia eléctrica, no âmbito do SEI (Sistema eléctrico independente), que se baseia na utilização de recursos renováveis. A presente legislação estabeleceu uma tarifa diferenciada para a entrega de energia eléctrica na rede pública de distribuição. Regula a actividade de produção de energia eléctrica integrada nos termos do Decreto-Lei nº182/95, de 27 de Julho.

Decreto-Lei nº 312/2001 de 10 de Dezembro de 2001 [49].

Define o novo regime de gestão da capacidade de recepção de energia eléctrica nas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público, proveniente de centros electroprodutores do Sistema Eléctrico independente.

Decreto-Lei nº 313-95 de 24 de Novembro de 1995 [50].

Estabelece no âmbito do SEI, o regime jurídico do exercício de actividade de produção de energia eléctrica em aproveitamentos hidroeléctricos, bem como da produção de energia eléctrica a partir das FER (Foundation for environmental research).

Para a produção de energia eléctrica a partir das fontes de energia renováveis, existem em Portugal, basicamente, dois mecanismos de apoio: i) um regime jurídico, que considera uma remuneração diferenciada por tecnologia das FER e respectivo regime de exploração; ii) e uma medida de apoio ao investimento inicial de projectos de produção de energia a partir das FER.

Em termos da meta de 150 MW (conforme Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003), sobre o actual enquadramento legal no que respeita ao potencial de expansão nacional dos investimentos na área da energia fotovoltaica, poderemos fazer dois tipos de comentários, que talvez nos possam ajudar a entender o seu real valor. Por um lado, no que respeita ao valor anterior de 50 MW, sem dúvida alguma de que se tratou de um importante aumento,

revelando uma actual perspectiva de crescente interesse por parte do Governo Português. Por outro lado, em termos do enquadramento desta meta no que respeita a resultados de estudos efectuados sobre o cenário energético nacional, será de realçar os estudos efectuados pela REN, onde é referido, para o horizonte de 2010, uma possibilidade de evolução da potência instalada até 400 MW, no que respeita à injeção de energia eléctrica na rede pública de distribuição a partir de sistemas fotovoltaicos.

Decreto-Lei nº 339 - C/2001 de 29 de Dezembro de 2001 [51].

Actualizou o Dec. Lei nº 168/99 de 18 de Maio, que define o regime aplicável à remuneração da produção de energia eléctrica, no âmbito da produção em regime especial do SEI. A Tarifa verde, que considera uma mais-valia em função dos benefícios ambientais proporcionados, determina uma tarifa diferenciada positiva, no que respeita à remuneração do kWh produzido a partir de fontes renováveis vendido à rede eléctrica pública.

Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Setembro de 2001 [52].

A Directiva 2001/77/CE de 27 de Setembro de 2001, do Parlamento Europeu e do Conselho, constituiu um inequívoco reconhecimento por parte da União Europeia, no que se refere à actual prioridade para a produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renovável (FER) no espaço Europeu.

A data limite para a transposição desta Directiva para o ordenamento jurídico nacional, foi 27 de Outubro de 2003.

No âmbito desta Directiva, a título indicativo, Portugal apresentou o compromisso de ter como meta em 2010, 39% de energia eléctrica produzida a partir de fontes de energia renováveis, no contexto do consumo bruto nacional de electricidade.

Assim, para 2010, onde é estimado para o Continente Português um consumo bruto de energia eléctrica da ordem dos 62TWh, implicará que a produção de energia eléctrica a partir da FER deverá ser superior a 24TWh.

Portaria n.º 383/2002 de 10 de Abril de 2002 [53].

No contexto do Programa E4, foi necessário proceder a alguns ajustamentos na portaria nº 198/2001, de 13 de Março, que criou a “Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos” (MAPE), por sua vez já alterada pela Portaria nº 1219-A/2001, de 23 de Outubro. É definido um regime de incentivos financeiros, num

contexto de atribuição de subsídios reembolsáveis e a fundo perdido, considerando como elegíveis os projectos relativos a centros de produção de energia eléctrica com utilização de fontes renováveis. Esta medida, inserida no eixo 2 do Programa Operacional da Economia (POE) do QCA III, estará em vigor no período entre 2000 a 2006.

Portaria nº 764/2002 de 1 Julho de 2002 [54].

Estabelece os tarifários aplicáveis às instalações de produção de energia eléctrica em baixa tensão, licenciadas ao abrigo do Dec.-Lei nº 68/2002.

Programa E4 de Setembro de 2001 - Eficiência energética e energias endógenas [55].

As acções e metas previstas no âmbito do “Programa E4”, Resolução do Conselho de Ministros Nº 154/2001, de 27 de Setembro, organizam-se num contexto de uma estratégia nacional que passa pelas fontes de energia renovável (FER). Desta forma se procurou responder aos desafios que o País se propôs atingir, nomeadamente no que se refere à duplicação da disponibilidade de potência e de energia eléctrica de origem renovável, num período de 10 a 15 anos.

Dentro das medidas previstas pelo programa E4 que se encontram mais directamente relacionadas com o âmbito da Directiva 2001/77/CE, e que se destaca o seu interesse no âmbito da tecnologia fotovoltaica, temos a agilização do acesso e incentivo ao rápido desenvolvimento da produção de energia eléctrica a partir das FER, a promoção das FER com potencial a médio prazo (onde se inclui a energia fotovoltaica) e a promoção da micro-geração de electricidade a partir da energia solar fotovoltaica.

No E4 é traçada uma primeira meta Nacional para a energia fotovoltaica, nomeadamente de 50MW.

Protocolo de Quioto de 16 de Fevereiro de 2005 [56].

O crescimento da percentagem do consumo da energia eléctrica produzida a partir das FER, ocupa um importante espaço no pacote de medidas preconizadas no âmbito do cumprimento do Protocolo de Quioto.

Em termos da política ambiental da União Europeia, a produção de energia eléctrica a partir das FER, aparece integrada entre as estratégias prioritárias definidas no âmbito das preocupações das alterações climáticas, em particular no âmbito da desejada redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

Real Decreto 436/2004 de 12 de Março - Metodologia para a actualização e sistematização do regime jurídico e económico da actividade de produção de energia eléctrica em regime especial [57].

Este real decreto tem por objectivo abordar a produção de energia eléctrica em regime especial, em particular no referente ao regime económico destas instalações. Aborda a sobre produção de energia eléctrica por instalações abastecidas por recursos ou fontes de energia renováveis, resíduos ou cogeração.

Real Decreto 1663/2000 de 29 de Setembro - Conexão de instalações fotovoltaicas à rede de baixa tensão [58].

Neste decreto abordam-se, entre outros aspectos, o procedimento de inclusão de uma instalação de produção de energia eléctrica em regime especial, o seu regime económico ou as condições de entrega da energia eléctrica produzida nessas instalações.

Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003 de 28 de Abril de 2003 [59].

Com a presente Resolução do Conselho de Ministros, é revogada a Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro, que aprovou o Programa E4. Neste documento, o Governo Português considera que a política energética Portuguesa assenta sobre três eixos estratégicos, entre os quais se destaca a necessidade de se assegurar a segurança do abastecimento Nacional e fomentar o desenvolvimento sustentável.

Nesta resolução do Conselho de Ministros, são apresentadas metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das fontes de energia renovável. A meta de 50MW traçada pelo E4 para a área da energia fotovoltaica, é pelo presente documento ampliada para 150MW até 2010.

3.4. Desempenho energético e comportamento térmico de edifícios

Decreto-lei 78/2006 de 4 de Abril de 2006 [60].

Define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE) [60];

A nível das energias renováveis, este decreto tem como finalidade assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior.

Nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, nomeadamente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética.

Decreto-lei 79/2006 de 4 de Abril de 2006 [61].

Aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [61];

Um dos objectivos deste decreto é favorecer sistemas centralizados como forma de tirar partido de economias de escala, com soluções energeticamente mais eficientes, incluindo as que recorrem a sistemas baseados em energias renováveis, mesmo que de custo inicial mais elevado, se tiverem viabilidade económica traduzida por um período de retorno aceitável.

Este decreto obriga ao recurso a sistemas de climatização que utilizem fontes renováveis, desde que constem de lista publicada especificamente para este efeito por despacho do director-geral de Geologia e Energia, em função da dimensão dos sistemas e da localização do edifício, e actualizável em função dos progressos técnicos e das condições económicas prevalentes, a menos que seja demonstrada a sua não viabilidade económica.

Decreto-lei 80/2006 de 4 de Abril de 2006 [62].

Aprova o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [63].

A nível das energias renováveis, este decreto obriga à instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária. Em alternativa à utilização de colectores solares térmicos podem ser utilizadas quaisquer outras formas renováveis de energia que captem, numa base anual, energia equivalente à dos colectores solares, podendo ser esta utilizada para outros fins que não a do aquecimento de água se tal for mais eficiente ou conveniente.

Na fórmula de cálculo das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias (N_{ac}), o E_{ren} (índice ren) é a contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para a preparação de AQS (água quente sanitária), bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 [63].

A Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002, do Parlamento Europeu e do Conselho, refere-se ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, obrigando-os a exigir, nestes casos, com poucas excepções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e económica. A directiva adopta ainda a obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com um objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.

Capítulo 4

Obra realizada e acompanhada

Capítulo 4

- 4. Obra realizada e acompanhada
 - 4.1. Centro Cultural de Alcobendas
 - 4.1.1. Fachada VEC Respirante
 - 4.1.1.1. Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”
 - 4.1.2. Projecto de execução da fachada e clarabóias
 - 4.1.2.1. Estrutura de alumínio
 - 4.1.2.2. Vidro
 - 4.1.2.3. Condicionantes e constrangimentos do processo de montagem
 - 4.1.2.3.1. Passagem de cabos
 - 4.1.2.3.2. Vidros com estore
 - 4.1.2.3.3. Condensações
 - 4.1.2.3.4. Cabos livres de halogéneos
 - 4.1.3. Projecto de instalação Fotovoltaica
 - 4.1.3.1. Estrutura de suporte
 - 4.1.3.2. Gerador Fotovoltaico
 - 4.1.3.3. Inversores
 - 4.1.3.4. Sistema de monitorização
 - 4.1.3.5. Conexão da instalação fotovoltaica à rede eléctrica
 - 4.1.3.6. Protecções eléctricas
 - 4.1.3.7. Contagem de energia
 - 4.1.3.8. Ligação à terra
 - 4.1.3.9. Canalizações eléctricas
 - 4.1.3.10. Dimensionamento do gerador fotovoltaico
 - 4.1.3.10.1. Secções de cabos
 - 4.1.3.10.1.1. Cablagem de corrente contínua
 - 4.1.3.10.1.2. Cablagem de corrente alternada
 - 4.1.3.10.2. Estudo de produção energética
 - 4.1.3.11. Estudo económico
 - 4.1.3.11.1. Valor actual líquido (VAL) do cash flow
 - 4.1.3.11.2. Período de recuperação do investimento (PRI)
 - 4.1.3.12. Simulações
 - 4.1.3.12.1. 1ª Proposta - Orientação da fachada em azimute = 0°
 - 4.1.3.12.2. 2ª Proposta - Alteração das áreas da fachada e clarabóias
 - 4.1.3.13. Estudo dos resultados

4. OBRA REALIZADA E ACOMPANHADA

4.1. Centro Cultural de Alcobendas

O caso de estudo desta dissertação é o Centro Cultural de Alcobendas localiza-se na localidade de Alcobendas na cidade de Madrid.

Esta obra integra-se no âmbito da decidida actuação dos responsáveis da política energética na Comunidade de Madrid para impulsionar a implantação de instalações solares fotovoltaicas na Comunidade.

Definiram-se como outras actuações prioritárias “as campanhas de consciência e divulgação” e “a realização de acções exemplares e instalações modelo”.

Este projecto tem um grande compromisso com o desenvolvimento e exploração da energia solar em meio urbano, com especial atenção na sua integração arquitectónica, num edifício emblemático e de grande significado.

Esta obra vem também de encontro ao Plano de Energias Renováveis (PER, 2005-2010) [64], que veio reforçar os objectivos prioritários da política energética, assim como dar cumprimento aos compromissos de Espanha no âmbito internacional, nomeadamente, a Directiva 20001/77/CE [65]. Pretende-se para 2010 que a electricidade gerada com estas fontes alcance 29.4% do consumo espanhol bruto de electricidade.

Este projecto pretende contribuir para alcançar os objectivos do PER, difundindo o uso da energia fotovoltaica de um modo racional, perseguindo o máximo de eficiência e a utilização da tecnologia mais eficiente e moderna existente no mundo.

A Fachada do Centro Cultural de Alcobendas que produz energia está voltada a Sudeste e é uma fachada VEC (vidro exterior colado) respirante fotovoltaica. Na Figura 4 apresenta-se o edifício em vista aérea.



Figura 4. Vista aérea da obra do Centro Cultural de Alcobendas.

Foram considerados os seguintes parâmetros, para a determinação do fluxo solar instantâneo:

- ✓ Província: Madrid;
- ✓ Município: Alcobendas;
- ✓ Morada: Calle Mariano Sebastián Izuel, 28100 Alcobendas;
- ✓ Latitude: 40,32° Norte;
- ✓ Longitude: 3,38° Oeste;
- ✓ Altura geográfica: 670 metros;
- ✓ Ângulo de altitude solar com a horizontal ao meio dia solar no Solstício de Verão: 73°;
- ✓ Fluxo solar instantâneo no solstício de verão na fachada: 740W/m²;
- ✓ Temperatura do ar no Verão: +35°C;
- ✓ Temperatura média: 13,96°C;
- ✓ Coeficiente $h_i = 8\text{W/m}^2\text{K}$;
- ✓ Radiação média anual: 1663kWh/m².

A fachada fotovoltaica apresenta um azimute de -51° e uma inclinação de 90°. As três clarabóias estão orientadas a 39° e têm 30° de inclinação com a horizontal.

O azimute ou ângulo de azimute solar é o ângulo entre a projecção horizontal dos raios solares e a direcção Norte-Sul no plano horizontal. É positivo se o sol estiver a Oeste a partir de Sul, e negativo de estiver a Este a partir de Sul [66].

Na Figura 5 pode-se visualizar desde a orientação Nascente o Centro Cultural de Alcobendas e na Figura 6 pode-se observar o edifício desde a orientação Este.



Figura 5. Vista Nascente do Centro Cultural de Alcobendas.



Figura 6. Visualização Este do Centro Cultural de Alcobendas.

A energia fotovoltaica é aplicada sobre os módulos de vidro da fachada que se encontra na vertical. O tipo de fachada aplicada em obra é a fachada VEC Respirante Fotovoltaica, que é composta por uma estrutura de alumínio lacado com caixilharia dupla. Na caixilharia interior está incluída a instalação de uma persiana para controlo solar dentro do vidro duplo, a câmara-de-ar entre caixilharias é de convecção natural e na caixilharia exterior existe vidro fotovoltaico do tipo vidro-célula-vidro.

No que concerne ao projecto global da fachada fotovoltaica, está incluído: conectar todas as cablagens; a instalação eléctrica; os onduladores; as equipas de medida; os quadros de protecção; o sistema de motorização da instalação via internet; o modem; os sensores de temperatura ambiente e de radiação; as selagens; a instalação e a conexão à rede de fornecimento de energia. No final, será necessário licenciar o projecto junto das entidades competentes.

As 3 clarabóias são apenas de uma vertente, compostas por uma estrutura de alumínio lacado. As juntas verticais são revestidas com uma capa de aperto e perfil de tapa juntas, e por debaixo das mesmas leva um butilo de estanquidade. As juntas horizontais são seladas com silicone neutro.

4.1.1. Fachada VEC Respirante

Antes de se perceber como se desenvolve o projecto de execução da fachada VEC respirante é importante explicar o conceito de fachada VEC e de Fachada Respirante.

O primeiro conceito a explicar e desenvolver é o de Fachada VEC (vidro exterior colado), que também pode ser designado por sistema de silicone estrutural ou vidro estrutural (structural glazing). No sistema utilizado em obra para o alumínio, da marca Technal, este sistema tem a designação de “Nuage”.

O sistema consiste em eliminar do pano exterior da fachada o elemento de suporte do vidro (capa de aperto e capa exterior), para evitar linhas marcadas de fachada e conseguindo uma superfície contínua e total de vidro. Para tal, o vidro fixa-se a uma estrutura (geralmente de alumínio anodizado através de processos de qualidade muito exigentes), independente da estrutura da fachada, e mediante silicones de características especiais (resistentes a raios UV...), obtendo assim módulos prefabricados que fecham a fachada.

Podem-se incorporar janelas (projectantes no exterior ou de batente no interior), que pelo exterior não possuem elementos de alumínio visíveis, impedindo distinguir os módulos de abertura dos fixos, já que a sua aparência é idêntica ao tratar-se de sistemas de ocultação da perfilaria de base.

O peso do vidro é suportado pelos calços de vidro, para evitar que o silicone trabalhe ao corte, de modo que a função deste seja evitar o desprendimento devido a acções perpendiculares à superfície do vidro, como a pressão ou sucção do vento (instalando esforços de tracção).

As Fachadas Respirantes caracterizam-se por serem constituídas por uma câmara de dimensões restringidas, onde somente existe uma membrana que iguala a pressão exterior e interior da câmara de modo a evitar condensações.

Para além do enumerado, a câmara-de-ar proporciona à fachada um isolamento térmico muito maior do que uma fachada de vidro tradicional, porque na zona de actuação se melhora o desempenho térmico do edifício e se reduz portanto, as necessidades de energia, e consequentemente o consumo dos sistemas de climatização.

As principais características das Fachadas Respirantes são as seguintes:

- ✓ Tecnologia de fabrico especializada;
- ✓ Não necessitam de manutenção;
- ✓ Bons níveis de isolamento térmico e acústico;

- ✓ Protecção recorrendo a estores que oferecem uma eficaz protecção solar.

A fachada respirante possui uns filtros que se colocam na zona inferior do quadro fotovoltaico, para permitir a passagem do ar, como se pode ver na Figura 7 e na Figura 8.



Figura 7. Filtro respirante.



Figura 8. Filtros respirantes montados nos quadros.

Como o fabricante de alumínio, a Technal, é francesa, este sistema tem a denominação “*Respirant Reflet Nuage*”. Foi elaborado um parecer técnico para aprovar a solução da fachada pela comissão encarregue pertencente à sociedade francesa “*Architectural Systems*”, que é composta por um grupo de pessoas especializado na área da construção e particularmente em tecnologia de construção de fachadas [67]. Na secção seguinte serão apresentadas as principais conclusões do dito parecer.

4.1.1.1. **Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”**

Este parecer é aplicado a elementos de visão, fixos ou de abertura à italiana e de fachada cortina, com a aplicação do princípio de respiração da caixa-de-ar entre os envidraçados e o exterior. Pode incluir a fixação dos vidros exteriores por meio de um adesivo selante de silicone através de um perfil adaptador designado por barrete (perfil em barra de alumínio anodizado) e inclui a aplicação do princípio da rotura térmica através de perfis de poliamida.

Os campos de utilização que este parecer abrange são as fachadas transparentes para edifícios de uso corrente e aquecidos (escolas, escritórios, hospitais). As fachadas deverão ser utilizadas nas condições de temperatura, humidade e pressão no interior, definidas no parecer e nas condições de exposição que possibilitem que a acção unitária resultante da pressão do vento, em condições normais, seja inferior a 1200Pa, salvo justificação em conformidade com a norma XP P28-004 [26]. A explicação de todos os procedimentos deste parecer encontra-se no Anexo C.

4.1.2. Projecto de execução da fachada e clarabóias

No âmbito deste caso de estudo, é necessário esclarecer que este é um projecto global, ou seja, o projecto inclui fachada e clarabóias, que não podem ser dissociados, pois a produção de energia é efectuada considerando a soma destes dois elementos e as próprias conexões eléctricas são interligadas.

O primeiro procedimento para o projecto de execução da fachada e clarabóias em alumínio consiste em estudar a memória descritiva da obra, todos os desenhos fornecidos pela empresa construtora, desenhos de arquitectura e desenhos da estrutura, para que se possam conhecer todos os elementos que fazem parte do edifício e da fachada. Esta informação é fundamental para se estudar o tipo de amarrações e conexões da fachada, cotas de limpo a respeitar e critérios de posicionamento das travessas de alumínio em relação ao limpo. É através destes desenhos que é desenvolvido todo o projecto da estrutura de suporte em alumínio da fachada e das clarabóias, com todos os pormenores construtivos: amarrações; remates a lajes de piso; tectos e paredes.

A estrutura do edifício é uma estrutura mista de betão e estrutura metálica. Nas fachadas há pilares e vigas metálicas e também pilares de betão e lajes de betão, como se pode observar na Figura 10.

Na Figura 9, as linhas a vermelho representam a estrutura metálica, enquanto que as linhas amarelas representam a estrutura de betão do edifício visto em alçado, neste caso o alçado sudeste.

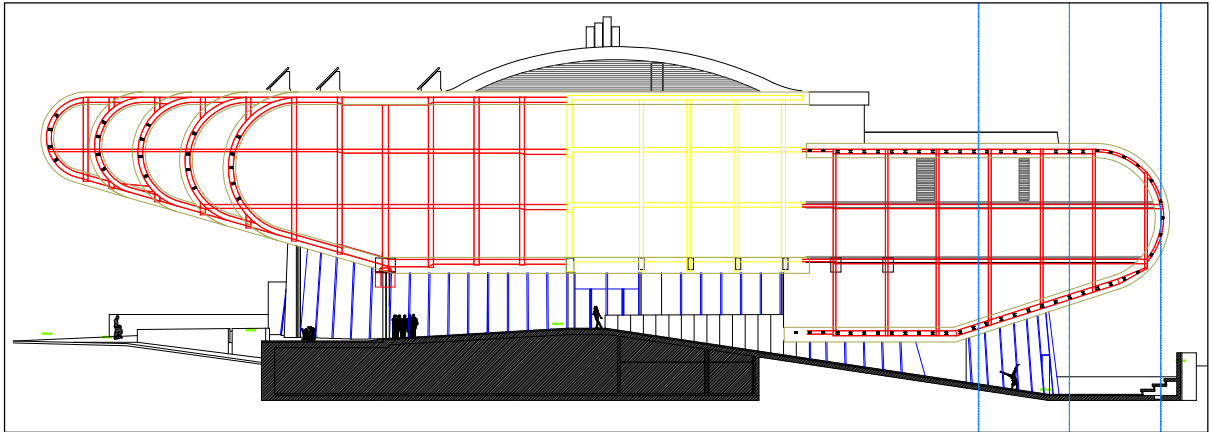


Figura 9. Desenho de alçado sudeste da estrutura metálica e de betão da obra.



Figura 10. Estrutura metálica e de betão da obra.

No caso das clarabóias, o processo é mais simples, uma vez que a estrutura metálica é fabricada à posteriori, já com a cobertura terminada, o que permite ter um melhor controlo das medidas da estrutura metálica de apoio, não sendo necessário nenhum tipo de levantamento topográfico, somente um levantamento de medidas em obra com laser das aberturas no betão, que servirá para fabricar a estrutura metálica. A base será a laje de betão da cobertura, sobre a qual irá assentar a estrutura metálica de suporte da estrutura em alumínio das clarabóias. O alumínio das clarabóias é encomendado e fabricado com base nas medidas de fabrico da estrutura metálica de suporte. A estrutura metálica de suporte pode ser vista na Figura 11 e na Figura 12. Nesta última figura pode também observar-se a estrutura de alumínio das clarabóias.

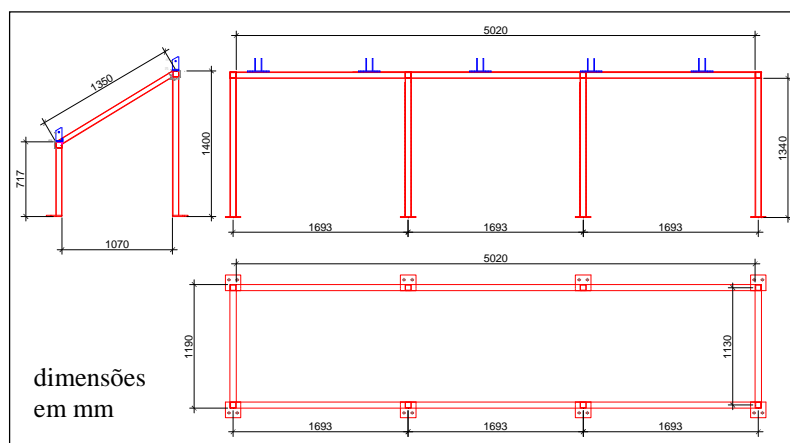


Figura 11. Estrutura metálica da clarabóia 3.



Figura 12. Estrutura metálica da clarabóia 3 montada em obra.

Numa fase inicial os desenhos do projecto de execução da fachada são desenvolvidos com base nos desenhos fornecidos pela construtora, enquanto que os desenhos das clarabóias são desenvolvidos posteriormente já com as medidas definitivas.

A aprovação dos desenhos do projecto de execução desta fase é valida para o aprovisionamento dos materiais da fachada: perfis de alumínio, todos os vedantes e acessórios necessários para os perfis de alumínio, chapas de alumínio para remates, painéis sandwich para remates de isolamento térmico, fitas de isolamento entre o aço e o alumínio, silicones de colagem e selagem, fixações de peças de amarração e ligações (parafusos, porcas, anilhas, varões roscados, etc.), buchas químicas e metálicas para fixação das peças ao betão, telas de selagem e impermeabilização da fachada, painéis ou elementos de protecção corta-fogo e mástiques corta-fogo.

As peças de amarração metálicas são encomendadas depois, e o vidro também deveria ser, mas como se trata de uma fachada fotovoltaica, é necessário encomendar a maior parte do vidro fotovoltaico, que tem um prazo de entrega muito prolongado e não se pode esperar por

ter as medidas finais de execução (medidas de topografia), para não comprometer o prazo de execução da obra. Para não correr o risco de encomendar vidros que depois poderiam não caber na fachada, são deixados vidros fotovoltaicos por encomendar em zonas laterais do edifício (zonas de acerto), pois as medidas desses vidros só são possíveis de aferir com o levantamento topográfico. O restante vidro, o que não é fotovoltaico, só é encomendado com o levantamento das medidas de execução efectuado.

No caso das clarabóias o material a encomendar é o mesmo que foi descrito para as fachadas, com excepção dos painéis corta-fogo e mástiques corta-fogo, que neste caso não são necessários. Os vidros das clarabóias são todos encomendados na fase de encomenda do alumínio pois já se conhecem as medidas finais nesta fase.

Depois de se ter procedido à encomenda dos materiais da fachada e clarabóias, é necessário proceder à preparação dos desenhos de instrução para a execução no fabrico e desenhos de instrução para a montagem em obra. Para tal é necessário efectuar o levantamento topográfico do edifício, tanto da estrutura metálica como da estrutura de betão. O desenho do levantamento topográfico efectuado ao edifício está representado na Figura 13.

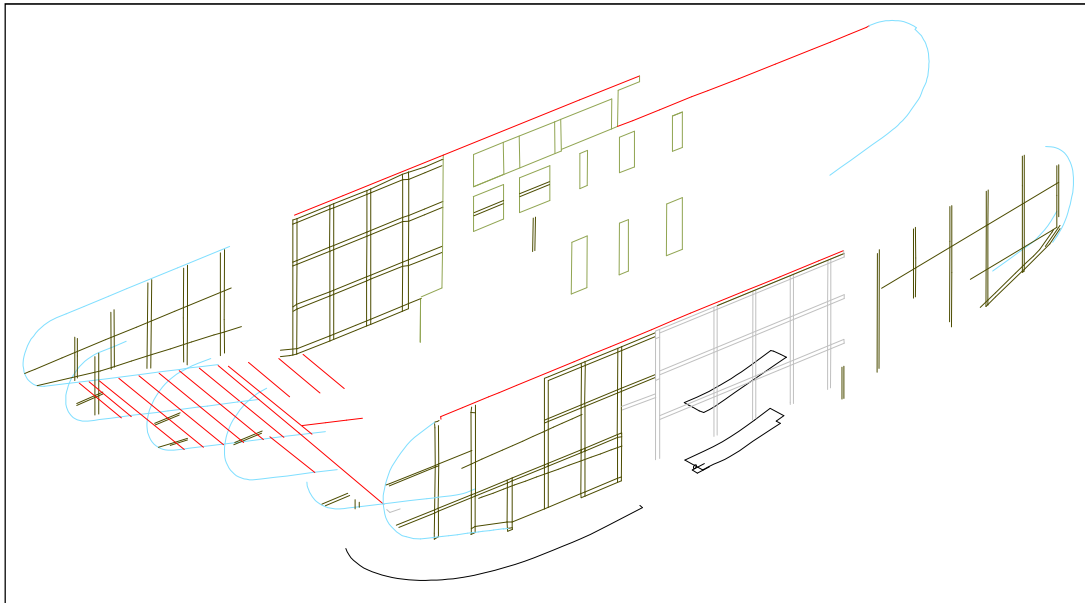


Figura 13. Desenho do levantamento topográfico do edifício.

O levantamento topográfico da estrutura é fundamental para se poder avaliar o real estado da obra. A maior parte das vezes é necessário ajustar a modelação por causa do posicionamento real de alguns elementos que não estão na posição exacta tal como estava definida no projecto. Também permite avaliar irregularidades do betão, flechas de lajes e de vigas e deformações de pilares.

É a partir dos desenhos que provêm do levantamento topográfico que se executa o projecto de execução final, ou seja, o projecto com as medidas reais para a execução no fabrico e desenhos de instrução para a montagem em obra.

Com a modelação final é possível conhecer o plano da fachada e avaliar as distâncias existentes entre o plano traçado e os elementos de suporte do edifício (lajes, pilares, vigas), distância essa que é absorvida pelas peças de amarração. Nesta fase é possível encomendar as peças de amarração com medidas precisas, o que se torna importante pois as peças de amarração são os primeiros elementos a montar em obra. As peças indo com medidas ajustadas à obra permitem poupar muito tempo de montagem. Nas Figura 15 e Figura 16 podem-se observar alguns tipos de peças de amarração aplicadas na fachada.

As peças de amarração são colocadas às cotas indicadas nos desenhos de montagem e todo o alumínio é fabricado com base nas mesmas cotas. Esta é a fase mais laboriosa da obra, pois é necessário marcar todos os eixos verticais e horizontais da fachada e o plano da fachada. Depois de estarem todas as marcações efectuadas o trabalho torna-se mais simples e rápido.

No caso das clarabóias, o primeiro desenvolvimento do projecto de execução já serve para elaborar os desenhos para execução no fabrico e os desenhos de instrução para a montagem em obra, pois as medidas finais são conhecidas, uma vez que o estudo das clarabóias é começado já com as dimensões definidas pelas aberturas no betão da cobertura do edifício. O trabalho a executar em obra é marcar a posição das clarabóias e montar a estrutura de suporte e peças de amarração que depois vão receber a estrutura do alumínio. Na Figura 14 pode-se observar as peças de amarração das clarabóias.

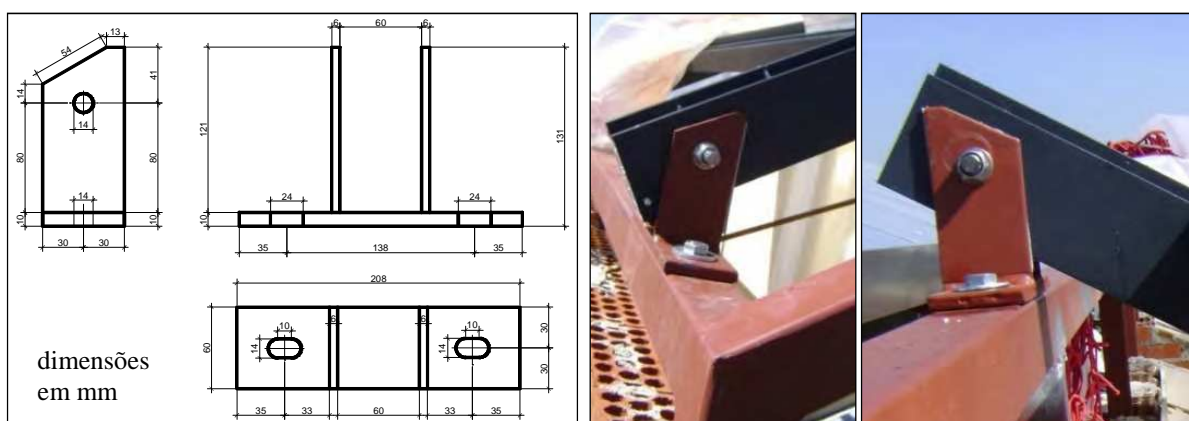


Figura 14. Peças de amarração das clarabóias.

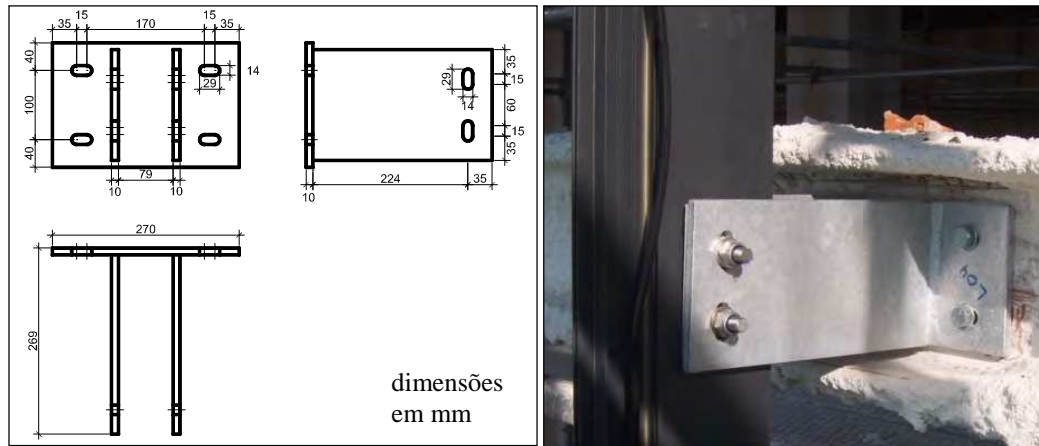


Figura 15. Peça de amarração da Fachada.

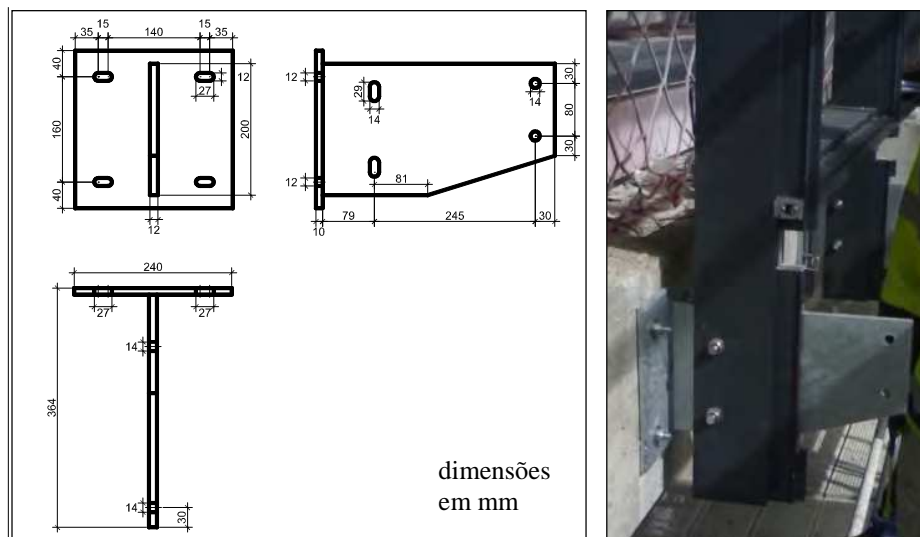


Figura 16. Peça de amarração da Fachada.

4.1.2.1. Estrutura de alumínio

Após efectuado o levantamento topográfico e todo o projecto de execução final desenvolvido, é possível saber as medidas de execução finais do alumínio da fachada. Os trabalhos de marcações e colocação de peças de amarração é efectuado em obra, enquanto que todo o alumínio entra para fabrico. São executados os chamados desenhos de fabrico que contém toda a informação necessária para o corte e as maquinagens.

No Anexo D pode ser consultado o alçado (sudeste) com modelação dos montantes e travessas de alumínio, os cortes verticais da fachada e uma secção horizontal da fachada.

A estrutura principal de suporte da fachada é constituída por montantes e travessas de alumínio. Esta será a base de toda a fachada, que depois receberá os quadros com os vidros fotovoltaicos incorporados.

As travessas são ligadas aos montantes através de uma peça que se designa taco de ligação, também de alumínio. Esta peça é colocada junto ao nariz do montante. O taco de ligação só é possível colocar numa ligação travessa-montante a 90°, como está representado na Figura 17. No caso de um ângulo diferente de 90° é necessário colocar cantoneiras com o ângulo que se pretende, tal como a solução apresentada na Figura 18. No primeiro caso a ligação fica completamente oculta e no segundo caso fica visível.

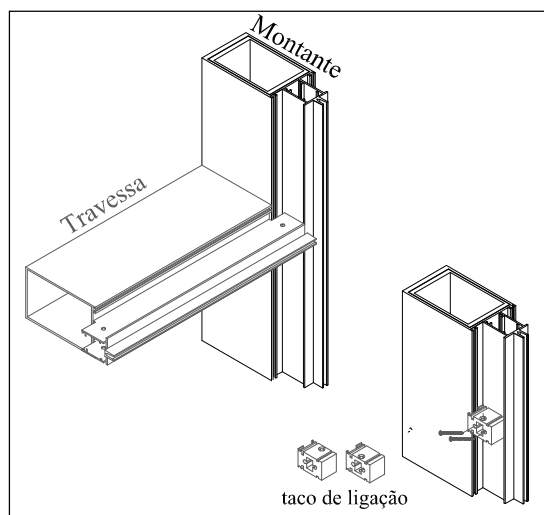


Figura 17. Inserção do taco de ligação travessa-montante em ligações a 90°.

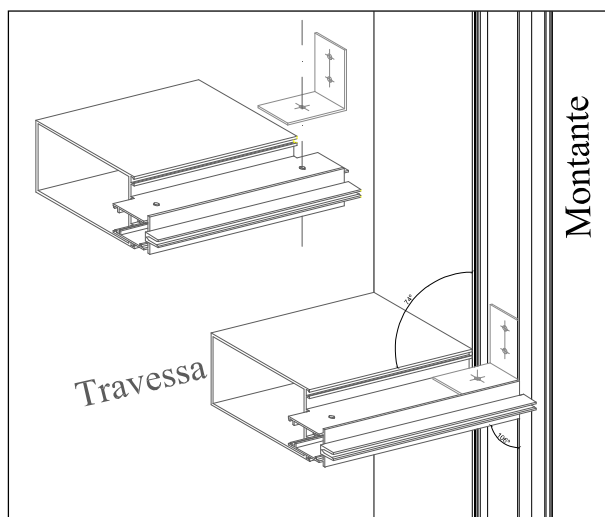


Figura 18. Peças de ligação travessa-montante em situações com ângulos diferentes de 90°.

Nesta fase procede-se à execução dos desenhos para execução no fabrico, de modo a se poder começar a cortar e a maquinar os montantes, as travessas e todos os perfis dos quadros. Por maquinagem entende-se todos os entalhes, furos e rasgos que é necessário aplicar aos perfis de alumínio.

São executados desenhos no programa Autocad® [68] com todas as informações necessárias, a nível de cotas de corte e maquinagem para que depois se possa inserir o desenho no programa Solidworks [69] para se poder exportar para as máquinas. Na Figura 19 encontra-se uma representação de um entalhe para a chapa de drenagem e ainda se pode observar o taco de ligação antes da colocação da travessa.

Na Figura 20 apresenta-se um pormenor da ligação entre um quadro e uma travessa postíça.

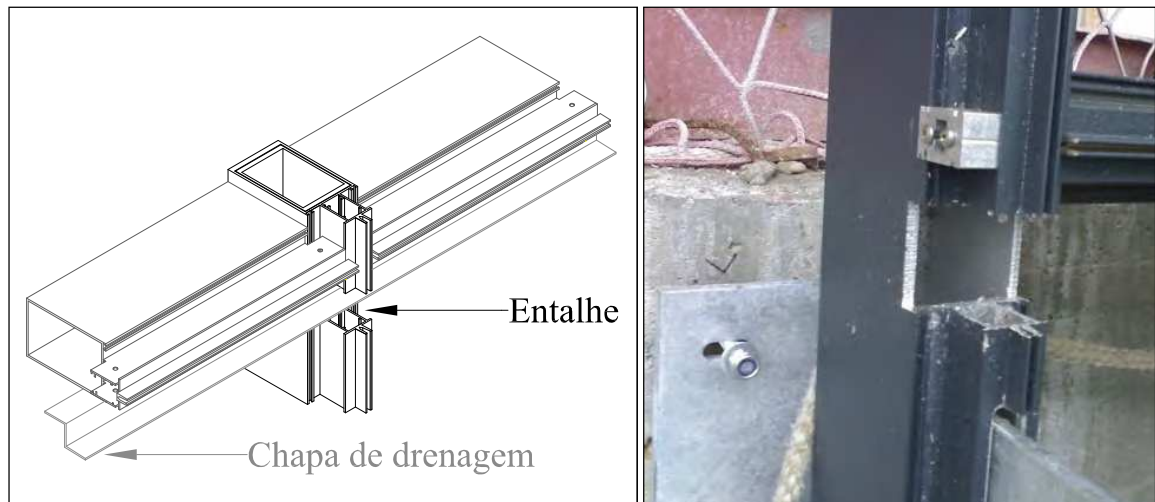


Figura 19. Entalhe para chapa de drenagem e taco de ligação travessa-montante.

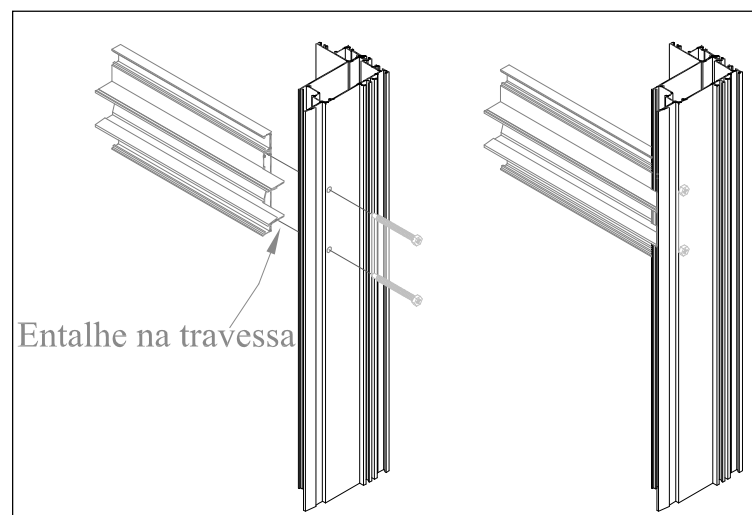


Figura 20. Pormenor da ligação quadro/travessa postíça.

Os quadros em alumínio que compõem a fachada fotovoltaica são preparados para receber a colagem dos vidros fotovoltaicos e suportar o vidro com estore. Os quadros são fabricados a seguir aos montantes e travessas de alumínio.

Em relação aos perfis dos quadros, são aplicados rasgos para ventilação do próprio perfil e não da caixa-de-ar do sistema, uma vez que o sistema é respirante, como se pode observar na Figura 21.

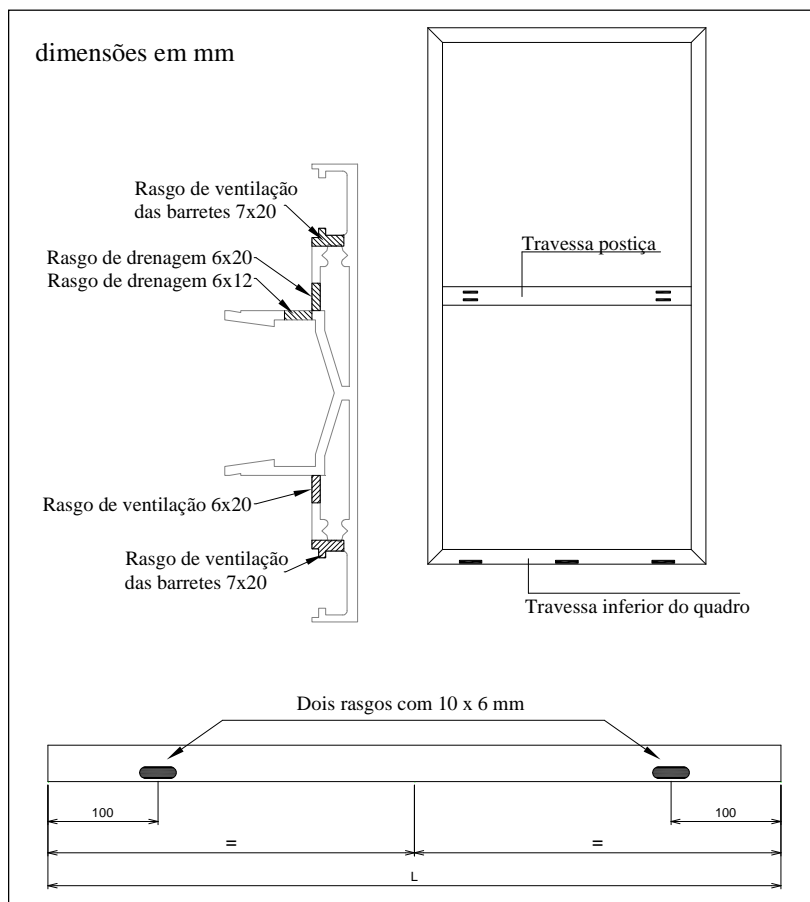


Figura 21. Rasgos para ventilação nas travessas.

São aplicados rasgos para a inserção dos filtros respirantes que são as únicas aberturas que a caixa-de-ar entre os 2 panos de vidro pode ter para permitir o correcto funcionamento do sistema, como se representa na Figura 22. O facto de não haver mais nenhuma abertura assegura que não há entrada de ar sem ser filtrado, logo não há entrada de sujidade para a caixa-de-ar e não compromete o funcionamento do sistema, que está executado para receber uma membrana que iguala a pressão exterior e interior da câmara de modo a evitar condensações.

Na Figura 23 apresenta-se um esquema da aplicação do filtro respirante e na Figura 24 pode-se observar um filtro já aplicado no quadro.

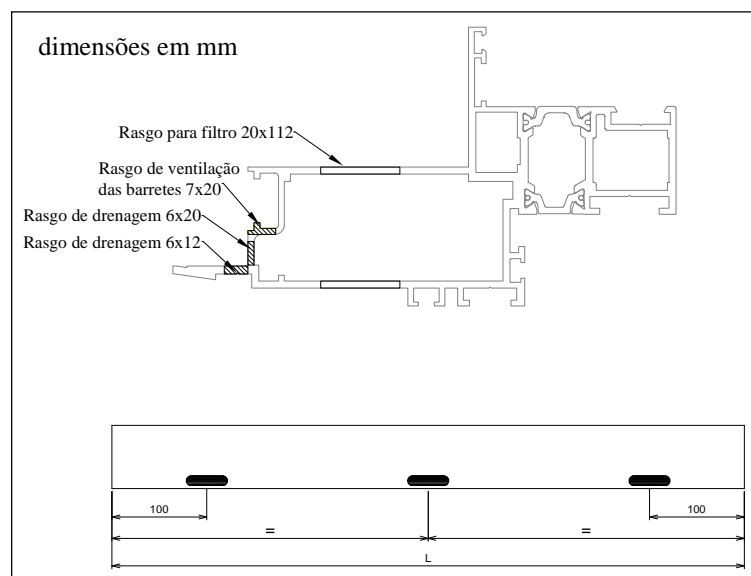


Figura 22. Rasgos para filtros respirantes.

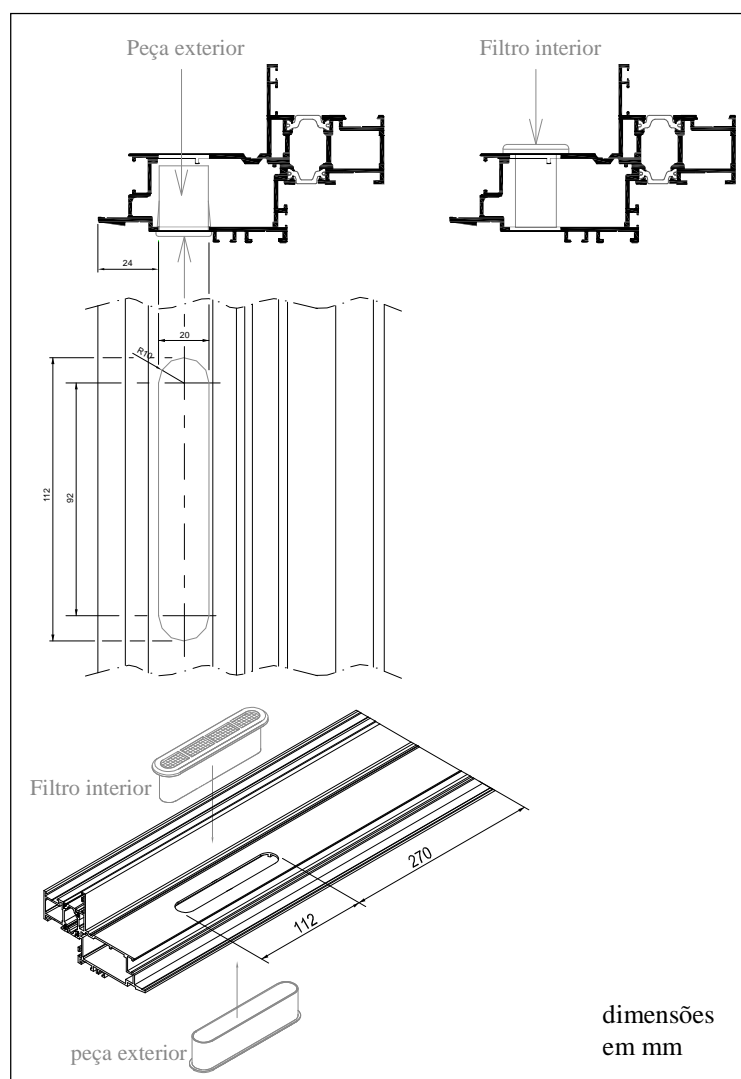


Figura 23. Esquema de colocação dos filtros respirantes.



Figura 24. Filtro respirante e rasgo para ventilação do perfil de quadro.

Para se compreender melhor o tipo de fachada que se está a tratar, apresenta-se na Figura 25 um esquema de alçado e respectivos cortes.

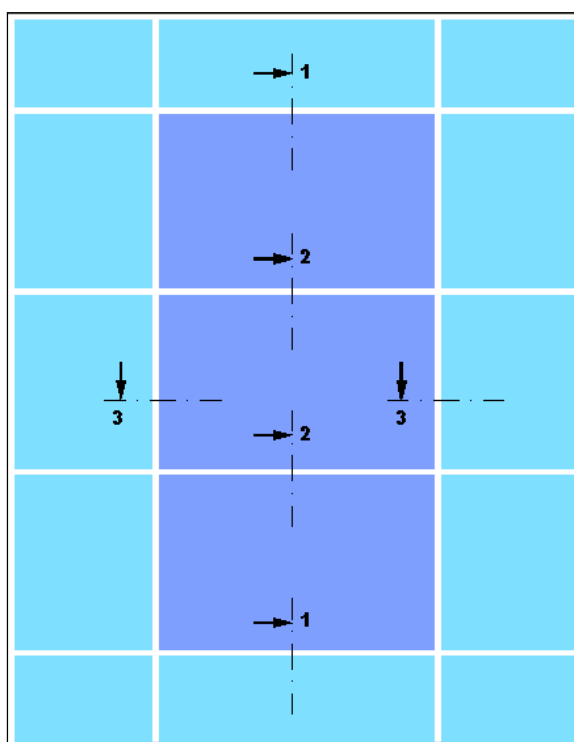


Figura 25. Alçado parcial representativo da fachada.

Na Figura 26 apresenta-se o corte 1, na Figura 27 o corte 2, na Figura 28 o corte 3 e na Figura 29 um esquema 3D.

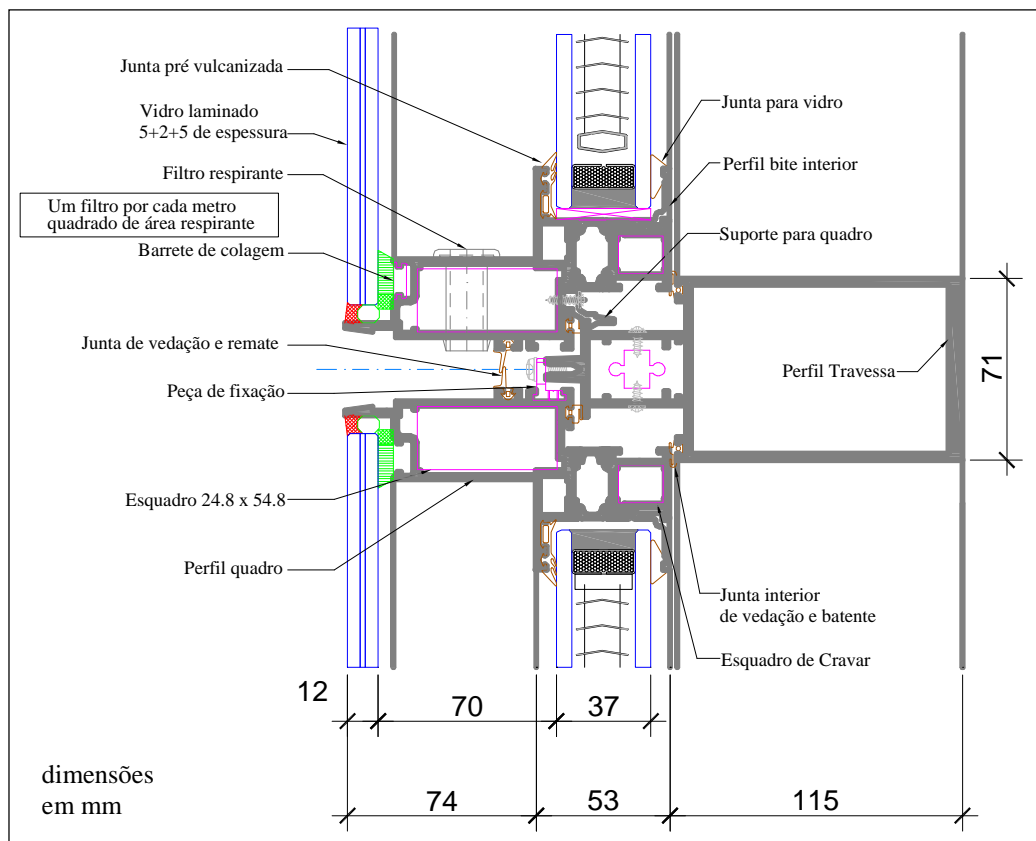


Figura 26. Corte Vertical 1.

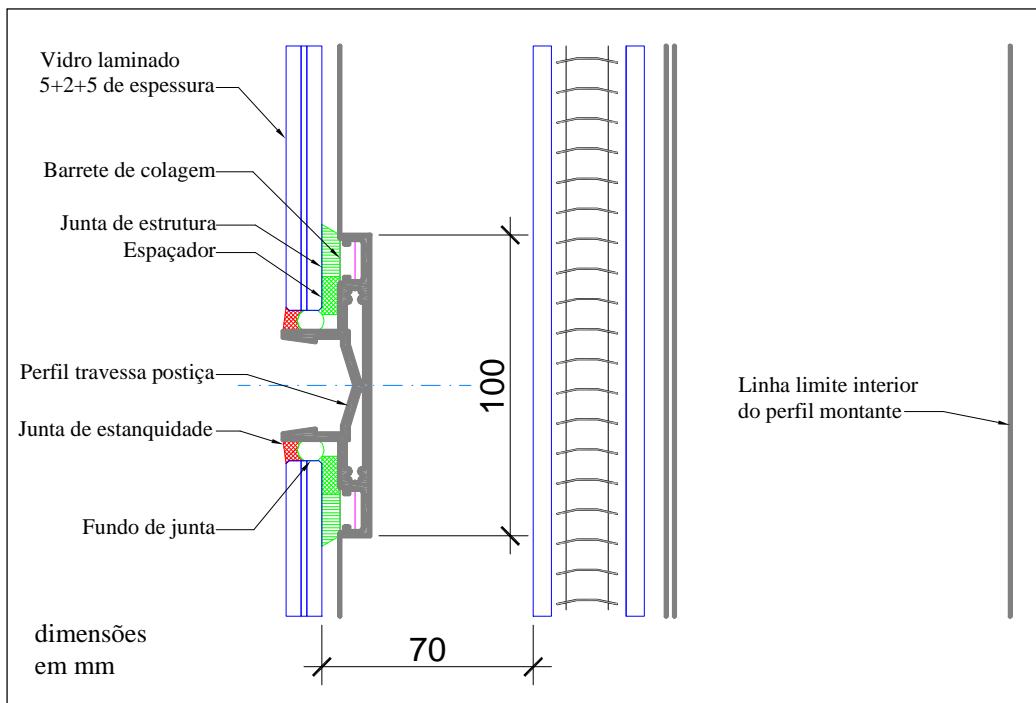


Figura 27. Corte Vertical 2.

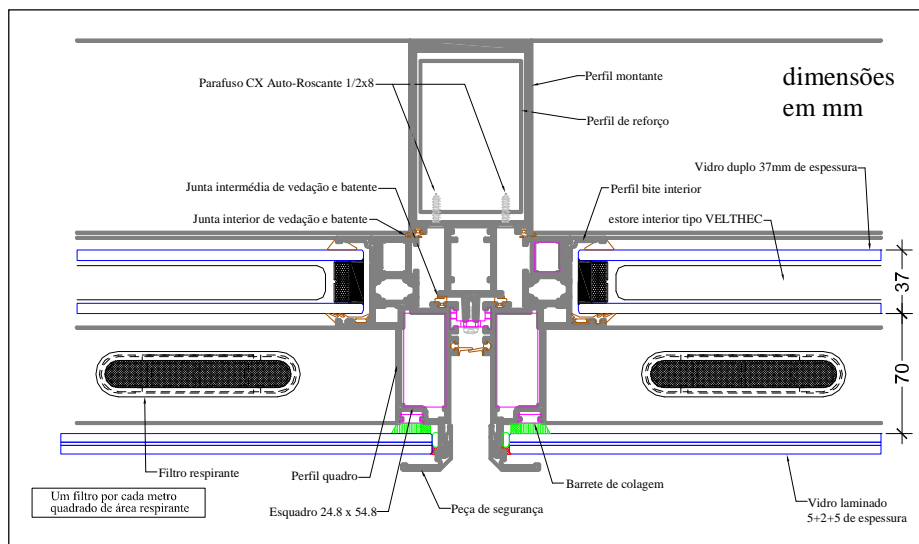


Figura 28. Corte Horizontal 3.

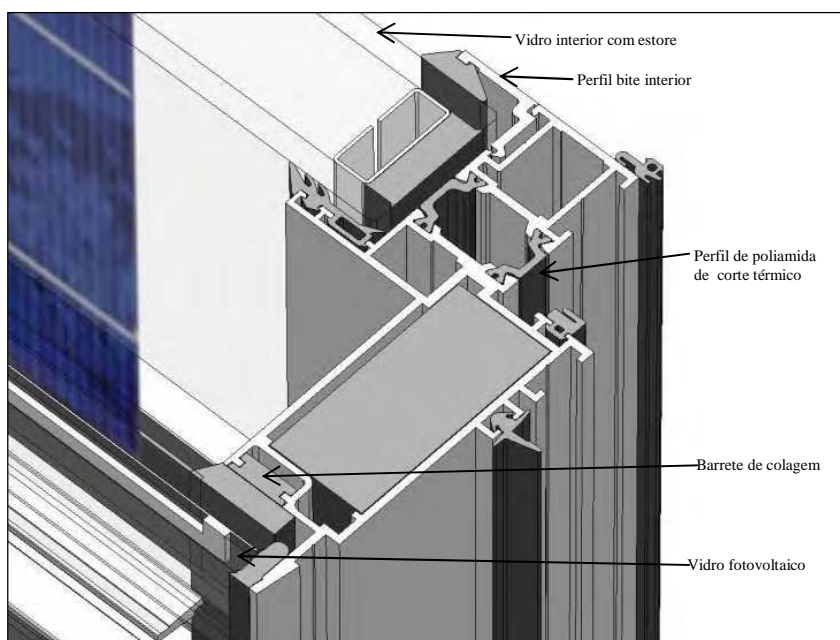


Figura 29. Pormenor 3D do caixilho com o vidro fotovoltaico e o vidro com estore.

Relativamente às clarabóias o processo de fabrico é mais simples, são cortados os montantes e travessas e depois são efectuadas as maquinagens, que neste caso apenas são as furações para o taco de ligação, para o taco guia e o rasgo para a chapa de drenagem. No Anexo D encontra-se a vista em planta, em corte longitudinal e corte transversal da clarabóia 3, já com os montantes e travessas de alumínio e com os remates finais.

Na Figura 30 e na Figura 31 apresentam-se os pormenores das travessas e dos montantes das clarabóias respectivamente e na Figura 32 pode-se observar o sistema de alumínio das clarabóias, formado por montantes e travessas.

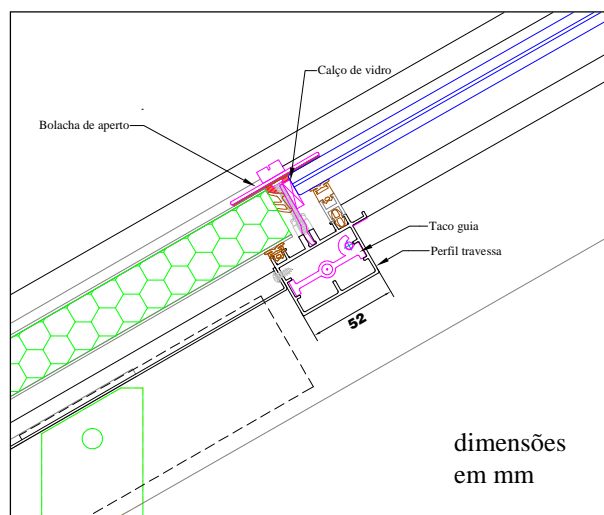


Figura 30. Pormenor da travessa das clarabóias.

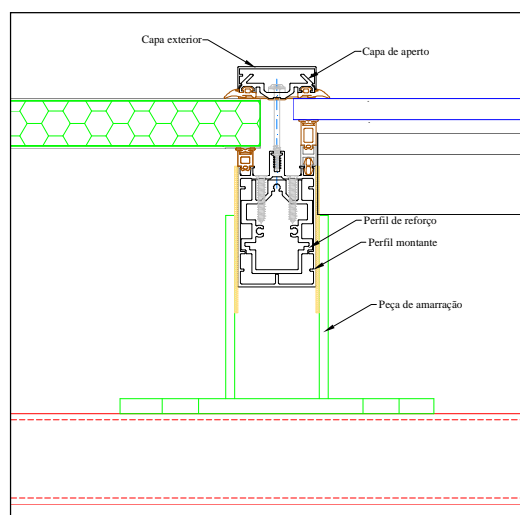


Figura 31. Pormenor do montante das clarabóias.



Figura 32. Montantes e travessas da clarabóia 3 montados em obra.

4.1.2.2. Vidro

A fachada é constituída por um caixilho interior (pano interior) que vai receber o vidro com estore, que é suportado através de bites, que são perfis de alumínio clipados ao quadro de suporte e por um caixilho exterior (pano exterior) que vai receber o vidro fotovoltaico, neste caso o vidro é colado ao caixilho.

O vidro do pano exterior (Fotovoltaico) é do tipo:

✓ 5mm SGG Planidur Diamant, 2mm célula (policristalina), 5mm SGG Planidur Planilux

As referências utilizadas são do fornecedor de vidro a SGG (Saint-Gobain Glass), neste caso a referência “Planidur” é referente a vidros de segurança e as referências “Planidur” e “Diamant” são referentes a vidros de visão.

Na Figura 33 encontra-se um vidro fotovoltaico.



Figura 33. Vidro fotovoltaico.

O vidro fotovoltaico desta obra é um vidro laminado extraclaro termo-endurecido. Como este tipo de vidros possui a máxima transparência com o fim de permitir a transmissão de luz e o edifício tem de cumprir normas e condições de isolamento tanto térmico como acústico, optou-se por integrar os módulos na parte exterior de um sistema de dupla cristalização. As células que estão no interior do vidro laminado são células policristalinas quadradas de 156mm, como apresentado na Figura 34.

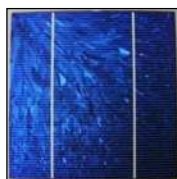


Figura 34. Célula fotovoltaica policristalina.

O vidro duplo do pano interior (vidro com estore) é do tipo:

- ✓ 5mm SGG Securit Planilux, caixa-de-ar de 27mm de ar seco, 5mm SGG Securit Planilux, com persiana orientável no seu interior por accionamento eléctrico.

A referência da SGG “Securit” é referente a vidros de segurança.

O sistema de vidro interior é um sistema de vidro duplo com estore pelo interior, com vidros temperados transparentes, como se pode observar na Figura 35. A ideia de colocar vidros transparentes prende-se com o facto de se querer dar cor à fachada, pois os estores que estão na caixa-de-ar destes vidros são coloridos, existindo uma grande variedade de cor dos estores, como se pode verificar na Figura 36.

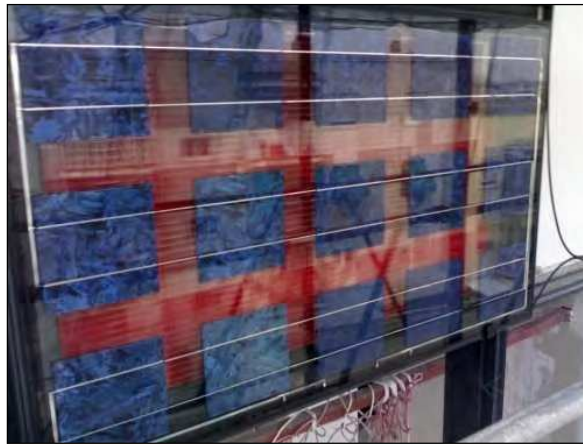


Figura 35. Quadro completo com pano de vidro fotovoltaico e vidro com estore.



Figura 36. Fachada fotovoltaica com os vidros fotovoltaicos e o colorido dos vidros com estores.

Na Figura 37 encontram-se as referências e medidas dos diversos módulos.

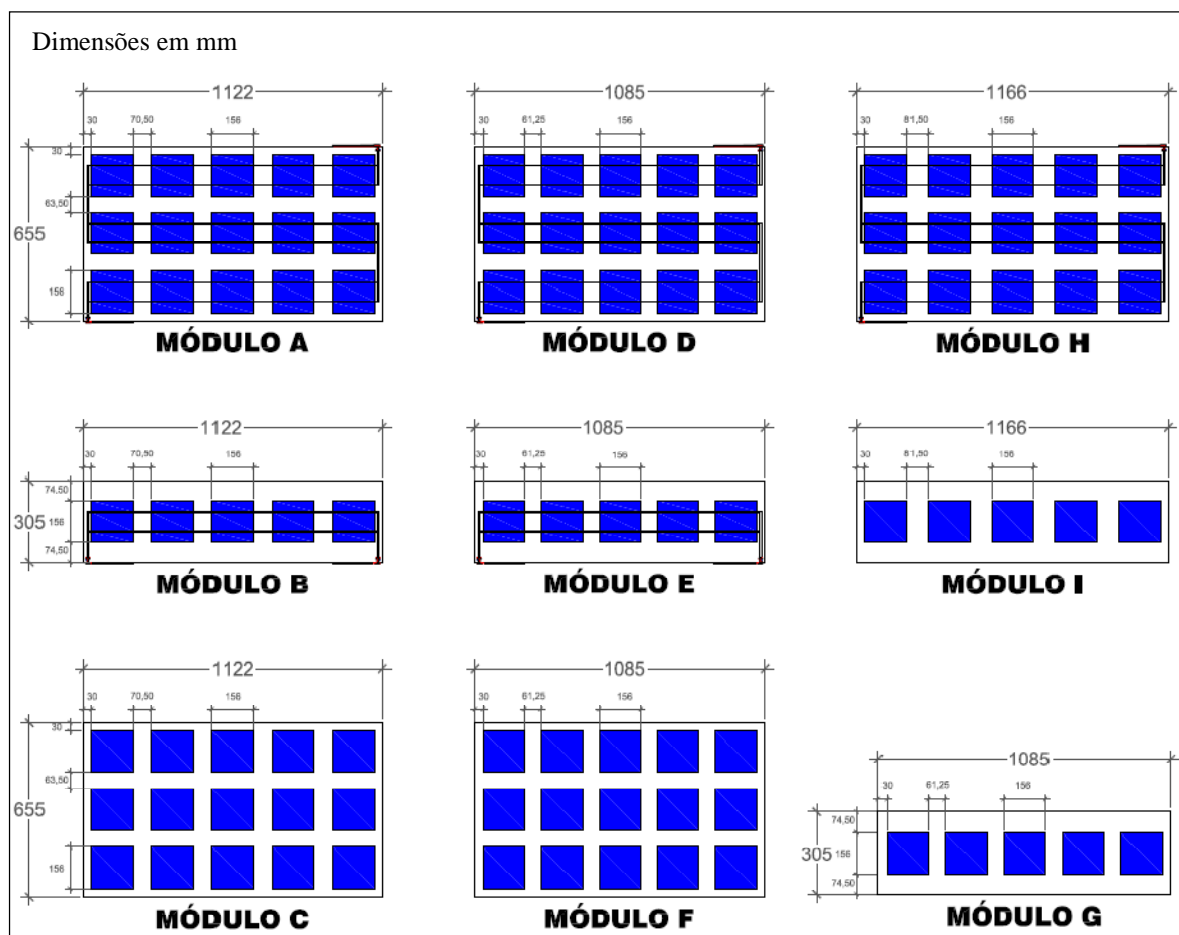


Figura 37. Desenhos dos vidros fotovoltaicos encomendados.

Numa primeira fase foram encomendados os vidros fotovoltaicos e dummies, como exposto na Tabela 5.

Tabela 5. Primeira encomenda de vidro fotovoltaico e dummie.

Designação do tipo de módulo	Dimensões (mm)	Quantidade (un)	Tipo de módulo
A	1122x655	290	Fotovoltaico
B	1122x305	18	Fotovoltaico
C	1122x655	15	Dummie
D	1085x655	71	Fotovoltaico
E	1085x305	3	Fotovoltaico
F	1085x655	9	Dummie
G	1085x305	2	Dummie
H	1166x655	160	Fotovoltaico
I	1166x305	10	Dummie

A referência “dummie” é referente aos vidros fotovoltaicos desligados. São vidros exactamente iguais a um vidro fotovoltaico, mas no final não serão conectados aos restantes vidros, logo não produzirão energia. Estes vidros existem porque há módulos fotovoltaicos nas janelas, e não é possível que estes estejam ligados (activos), devido à abertura das janelas, e os restantes existem por questões de forma, vidros molde (irregulares) ou por impossibilidade de conexão.

No Anexo E encontra-se o alçado com modulação dos vidros fotovoltaicos e com a modulação dos vidros dummies (vermelho e verde).

Na Figura 38 encontra-se um alçado com as cores dos diversos tipos de módulos e na Tabela 6 encontra-se a legenda dos módulos com a designação, dimensões, quantidades, cor representativa no alçado e os m² do módulo.

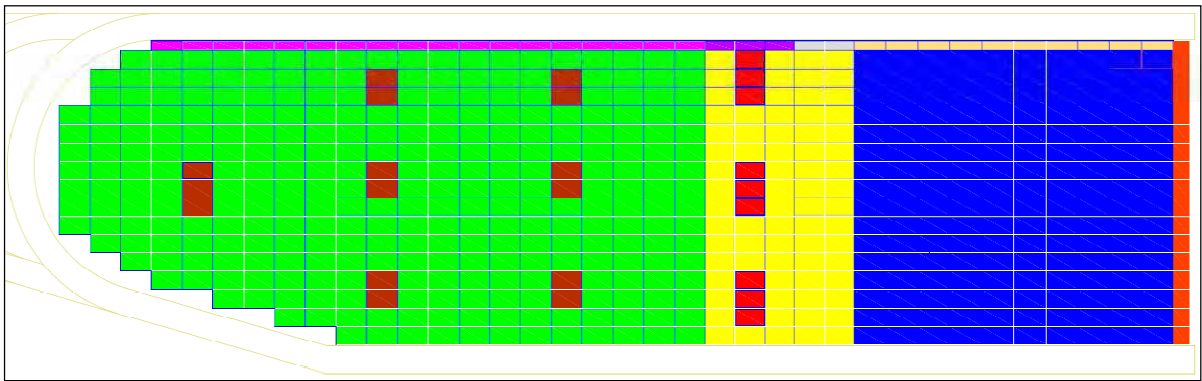


Figura 38. Alçado com disposição por tipo de vidro fotovoltaico.

Tabela 6. Módulos fotovoltaicos e módulos dummies.

	Designação do tipo de módulo	Dimensões (mm)	Quantidade (un)	Cor	Área (m ²)
Módulos fotovoltaicos	A	1122x655	290	verde	0,735
	B	1122x305	18	rosa	0,342
	D	1085x655	71	amarelo	0,711
	E	1085x305	3	violeta	0,331
	H	1166x655	160	azul	0,764
Módulos dummies	C	1122x655	15	castanho	0,735
	F	1085x655	9	vermelho	0,711
	G	1085x305	2	cinzento	0,331
	I	1166x305	10	laranja	0,356
	Semi-lua			branco	variável
	Acertos laterais			laranja escuro	variável

Na fase de preparação para fabrico da fachada de alumínio é introduzida a estrutura de alumínio no programa de exportação para fabrico, que fornece as medidas de vidro para a estrutura que vai ser fabricada. Nesta fase pode-se comprovar a medida dos vidros e é nesta fase que se procede à encomenda dos vidros que não tinham sido encomendados na primeira fase, a maior parte dos vidros com estore e alguns fotovoltaicos.

Os vidros molde (vidros de formas irregulares, vidros que não possuem forma rectangular) e os acertos são medidos individualmente em obra, já com parte da fachada montada em obra, e são fabricados à medida que se vai fazendo o levantamento das suas medidas. Estas medidas só são possíveis de comprovar em obra, visto haver zonas com inclinações e zonas com curvas, o que torna muito difícil o controle das medidas. A maior parte dos vidros com lados curvos foi medido com a execução de um molde em obra e depois o vidro foi executado com base nesse molde.

Na Figura 39 apresentam-se algumas formas dos vidros molde.



Figura 39. Exemplos de vidros molde fotovoltaicos e dummies encomendados.

A encomenda do vidro com estore é efectuada tendo em conta a cor do vidro e o facto de o estore ser fixo (com accionamento manual) ou orientável (com accionamento eléctrico através de comando). No Anexo F encontra-se a descrição do funcionamento dos vidros com estore.

Na fachada existem janelas projectantes e janelas de acesso de bombeiros que também possuem vidros com estore.

Os estores fixos têm 2 possibilidade de ângulos, como se pode observar na Figura 40, o que torna a encomenda bastante complexa.

Na Figura 41 apresenta-se a descrição de cada tipo de cor utilizada nos estores. A referência “Triflex” é uma referência de cor utilizada pelo fornecedor dos estores.

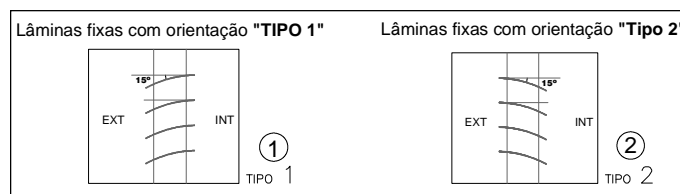


Figura 40. Tipos de lâminas fixas.

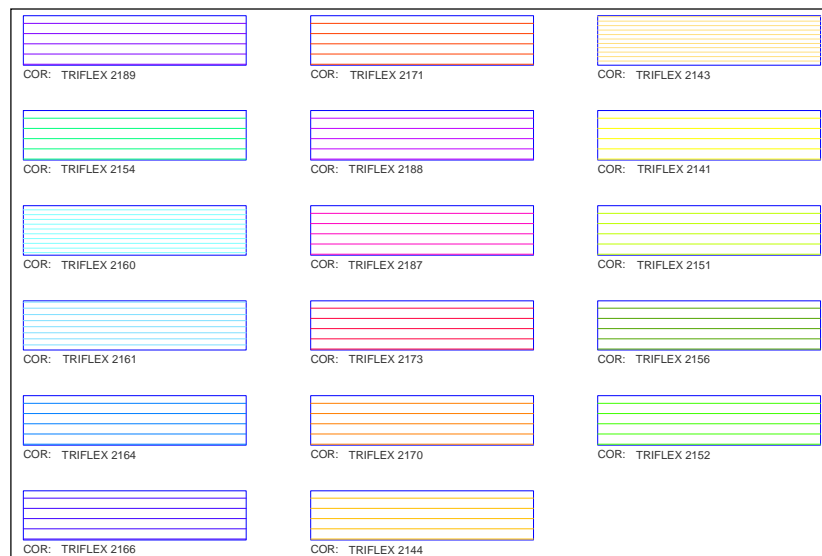


Figura 41. Cores das lâminas dos estores.

No Anexo E pode ser consultado o alçado com a identificação dos vidros com estore, o alçado com identificação da cor dos estores e o esquema de activação dos estores. Na Figura E2 deste anexo, que apresenta o alçado com a identificação do tipo de vidro, aparece a referência 3 que representa os vidros que são executados em painel sandwich com a cor indicada nos desenhos. Neste caso foi aplicado um painel sandwich porque o vidro era muito pequeno e ficava oculto

desde o interior do edifício e seria muito difícil fabricar um estore com uma altura tão pequena.

O vidro das clarabóias é do tipo:

✓ 6mm SGG Planidur Diamant, 2mm célula (policristalina), 6mm SGG Planidur Planilux

Este vidro é igual ao vidro do pano exterior da fachada fotovoltaica, com a diferença da espessura do vidro que passa a ser de 6mm nos 2 vidros que formam o vidro laminado final.

As células que estão no interior do vidro laminado são células policristalinas quadradas de 156mm, tal como no vidro da fachada fotovoltaica.

Estes vidros são todos vidros activos e todos produzem energia. Tal como na fachada a opacidade aproximada é de 45 %.

No Anexo E encontra-se a identificação de cada clarabóia e a disposição dos vidros fotovoltaicos.

Na Tabela 7 apresentam-se as principais características dos vidros fotovoltaicos das clarabóias, na Figura 422 encontram-se as medidas dos vidros e as disposições das células, dos vidros aplicados nas clarabóias e na Figura 433 encontra-se representado um vidro fotovoltaico já aplicado em obra.

Tabela 7. Características dos vidros fotovoltaicos das clarabóias.

Características do módulo	Células policristalinas opacidade 45%							
Composição do módulo	Vidro 1: Planidur Diamant (6mm) células (2mm)				Vidro 2: Planidur Planilux (6mm)			
Clarabóia	L1				L2		L3	
Referência do vidro	L1.1	L1.2	L1.3	L1.4	L2.1	L2.2	L2.3	L3
Dimensões dos vidros (mm)	1072x994	1063x994	1055x994	1290x994	1389x900	1184x900	1177x900	1051x946
Área unitária de vidro (m ²)	1,07	1,06	1,05	1,28	1,25	1,07	1,06	1,00
Quantidade (un)	4	2	2	2	2	3	3	4
Área a garantir (45% opacidade)	0,48	0,48	0,47	0,58	0,56	0,48	0,48	0,45
Quantidade de células por vidro (un)	5x4	5x4	5x4	6x4	6x4	5x4	5x4	5x4
Área ocupada pelas células (m ²)	0,49	0,49	0,49	0,58	0,58	0,49	0,49	0,49
Opacidade %	45,63	46,02	46,37	45,47	46,67	45,59	45,90	48,86

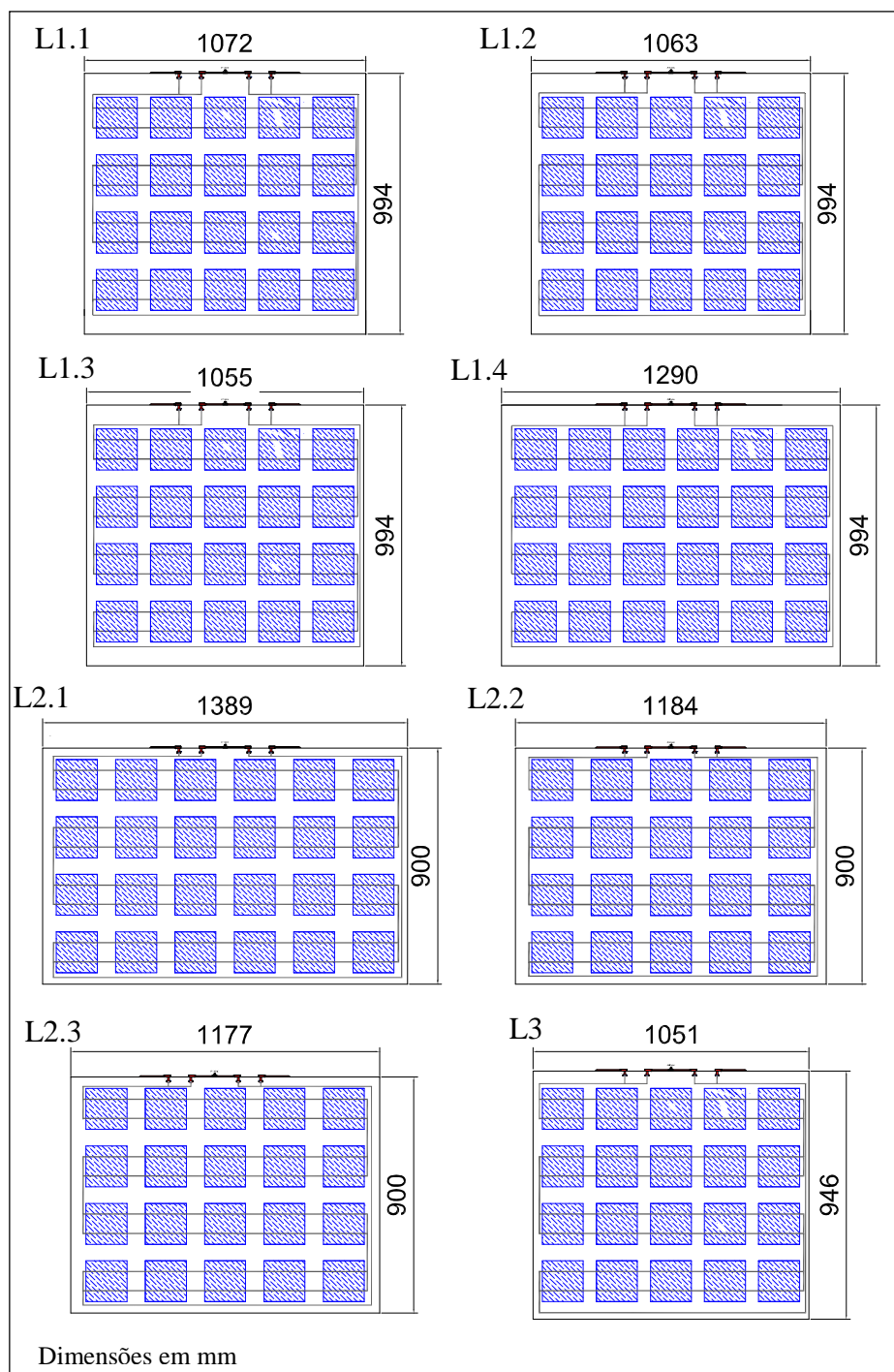


Figura 42. Vidro fotovoltaico aplicado nas clarabóias.

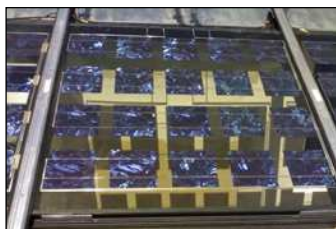


Figura 43. Vidro fotovoltaico montado numa clarabóia.

4.1.2.3. Condicionantes e constrangimentos do processo de montagem

Durante a execução de uma obra surgem várias situações imprevistas, revelando a dificuldade que se tem na sua execução, porque muitas vezes surgem problemas e há a necessidade se encontrar uma solução, o que obriga a pesquisar e a conhecer melhor as soluções aplicadas. A obra em estudo não é exceção, tendo surgido diversas situações imprevistas, condicionantes da própria obra ou do sistema de fachada, em que houve necessidade de pensar em soluções rápidas e eficazes. Uma das primeiras condicionantes a surgir e que está relacionada com o sistema de fachada aplicado em obra, foi a passagem dos cabos ao longo da fachada até à sala técnica. Outra condicionante que surgiu e que está relacionada com o fabrico dos estores dos vidros foi o facto de não serem exequíveis estores com formas muito irregulares. Uma situação imprevista que surgiu no decorrer da obra foi o aparecimento de condensações no interior da câmara entre o vidro fotovoltaico e o vidro com estore. A última condicionante que se apresenta está relacionada com os cabos aplicados nas ligações fotovoltaicas que por exigência da obra, foi necessário instalar cabos livres de halogéneos.

4.1.2.3.1. Passagem de cabos

No sistema de instalação dos cabos, desde a saída no vidro fotovoltaico até um ponto de descida para a sala técnica, há a necessidade de atravessar os perfis de alumínio da fachada. Na Figura 44 apresenta-se a zona de saída dos cabos do vidro fotovoltaico, onde se pode observar que existe uma grande quantidade de cabos em todo este sistema.

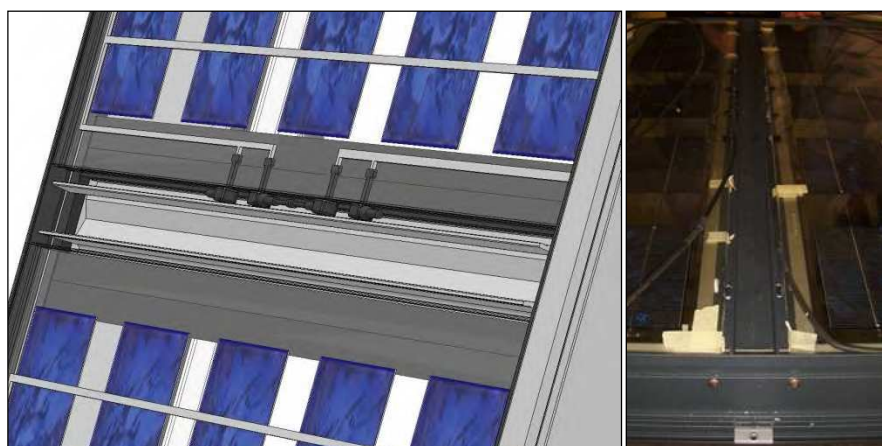


Figura 44. Zona de ligação dos cabos aos vidros.

Vão existir ligações entre os diversos vidros e cabos a efectuar um percurso de descida para a sala técnica. Como os cabos têm de ficar ocultos, porque para além de ser esteticamente inaceitável que todos os cabos fiquem à vista, também é necessário que os cabos fiquem

protegidos das agressões climáticas exteriores, foi necessário arranjar uma solução para que todos os cabos pudessem passar e que ficassem ocultos. Para se conseguir este objectivo, foram estudadas diversas possibilidades.

Inicialmente pensou-se em passar a cablagem pelo interior dos perfis até à zona do vedante central, como se verifica na Figura 45 e na Figura 46.

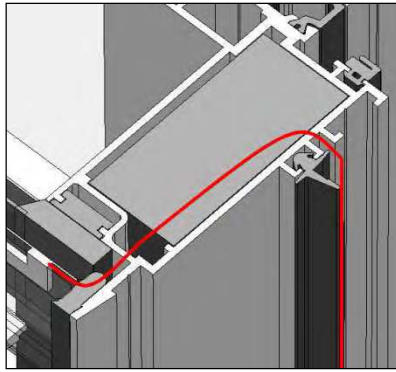


Figura 45. Solução inicial para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.

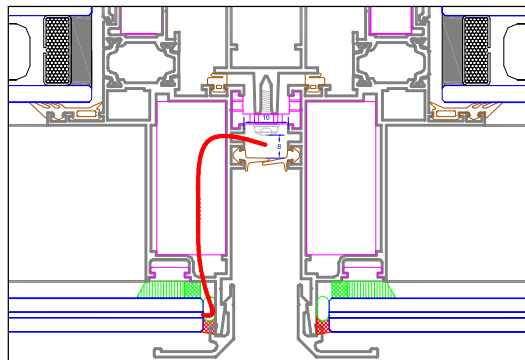


Figura 46. Pormenor da solução inicial para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.

No entanto, esta solução apresentava inúmeros problemas:

- ✓ Execução muito difícil;
- ✓ Muito pouco espaço disponível;
- ✓ Necessidade de dobrar os cabos em ângulos muito fechados, o que poderia gerar cortes nos mesmos.

A solução definitiva só foi possível encontrá-la quando se fez uma amostra real do quadro fotovoltaico e se testou a colocação dos cabos nos quadros. A solução que foi adoptada e que permitiu criar o maior espaço possível para a passagem da cablagem por uma zona oculta, está representada na Figura 47 e na Figura 48, onde se pode observar nesta última, a zona

onde o cabo atravessa o quadro de alumínio para poder entrar no espaço existente entre os quadros de alumínio.



Figura 47. Solução final para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.



Figura 48. Furação no quadro de alumínio para passagem dos cabos dos vidros fotovoltaicos.

Esta solução foi conseguida através da colocação de mais um elemento no sistema, uma cantoneira em alumínio de medida 25x25x1,5mm. A zona de passagem que se criou através desta solução, é suficientemente ampla para permitir a passagem dos cabos. Esta zona está assinalada por uma malha a azul claro na Figura 49 e pode ser observada na Figura 50.

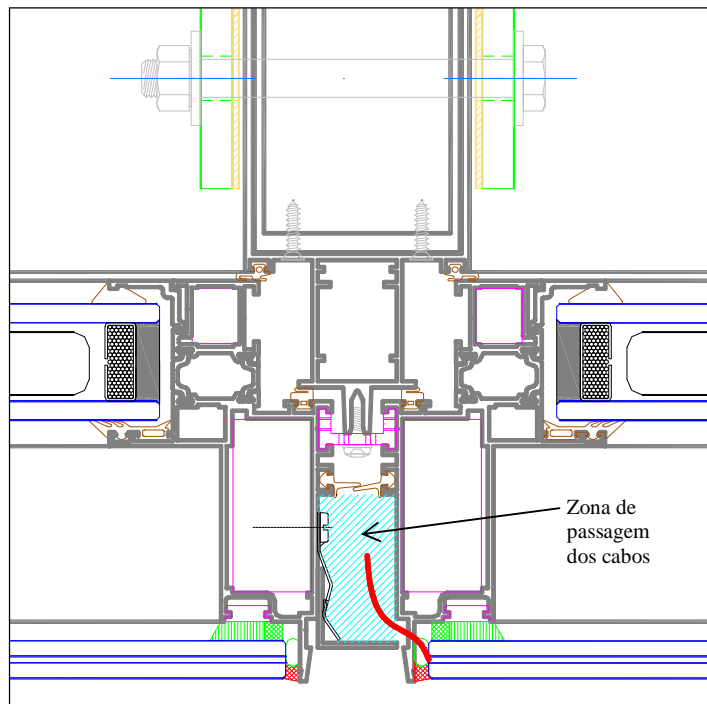


Figura 49. Pormenor da solução final para a passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.

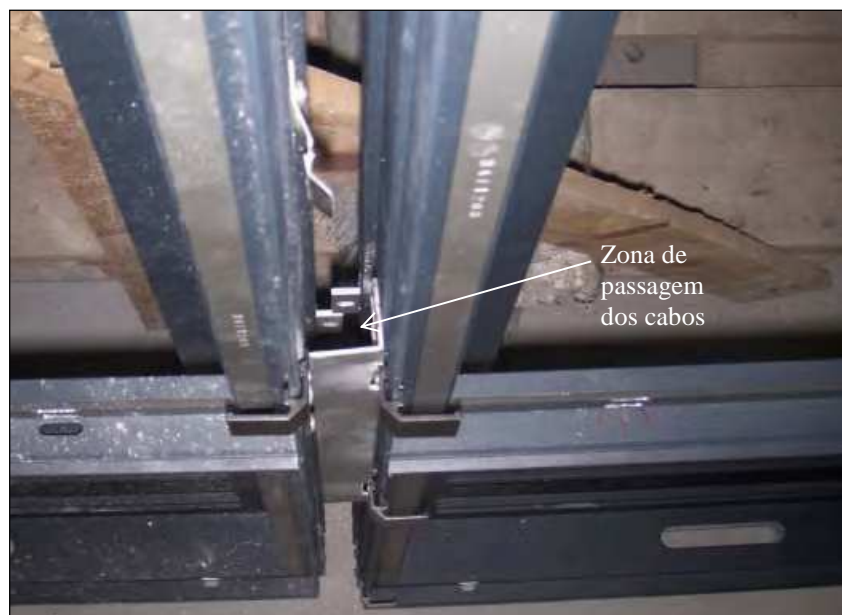


Figura 50. Zona de passagem de cabos dos vidros fotovoltaicos.

A cantoneira é “clipada”, ou seja, é colocada uma peça que se chama clip, que depois recebe a cantoneira e que permite a sua fácil colocação, como está representado na Figura 51. Esta solução tem ainda a vantagem de se poder remover a cantoneira sem danificar o sistema e depois voltar a colocá-la com facilidade.



Figura 51. Pormenor da solução com clip para colocação de cantoneira de alumínio.

Para que a solução ainda fosse mais prática para a montagem colocaram-se as peças de segurança do vidro na horizontal, libertando assim todo o canal vertical existente entre os 2 quadros.

Na Figura 52 pode-se observar as peças de segurança ainda na vertical e os problemas que poderia originar na colocação das cantoneiras, sendo necessário recortar todas as cantoneiras na zona das peças de segurança.

Na Figura 53 pode-se observar o aspecto final da fachada com as cantoneiras já aplicadas e com as peças de segurança na horizontal.



Figura 52. Peças de segurança na posição vertical.



Figura 53. Aspecto final da passagem de cabos na Fachada.

4.1.2.3.2. Vidros com estore

Uma das condicionantes que decorreu na altura da encomenda dos vidros com estore, foi o facto de existirem os vidros molde, o que se veio a revelar um problema conseguir colocar os estores nesse tipo de vidros. Os vidros molde necessitam de soluções particulares para cada tipo de vidro, como se pode observar na Figura 54 e na Figura 55.

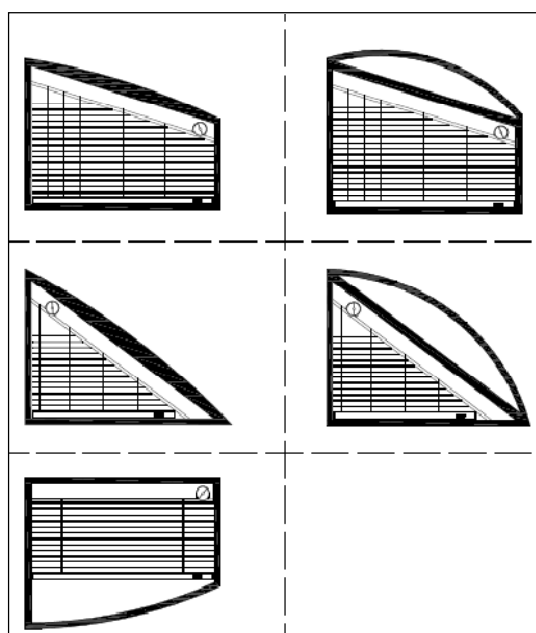


Figura 54. Solução para colocação dos estores em vidros molde com lados curvos.

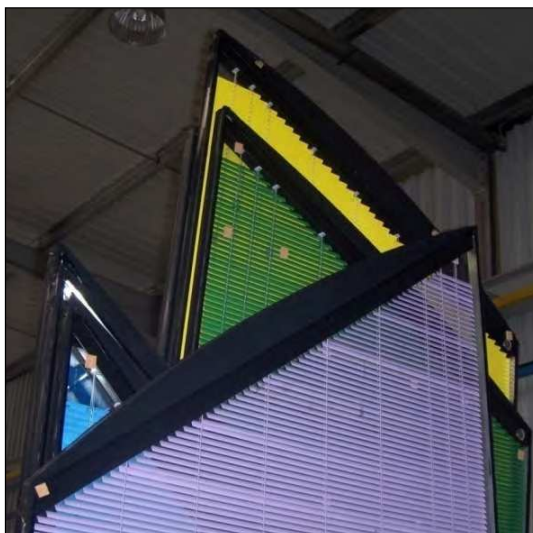


Figura 55. Vidros molde com estore com lados curvos.

Conseguiu-se solução para quase todos os estores excepto alguns com formas realmente muito irregulares, onde se optou por colar uma película à cor colada a simular as lâminas do estore, como se pode observar na Figura 56, onde está uma solução com estore rectangular e uma película colada na parte inferior. Alguns vidros não levaram nenhum estore, só levaram película, pois revelou-se impossível fabricar estores para alguns tipos de formas.

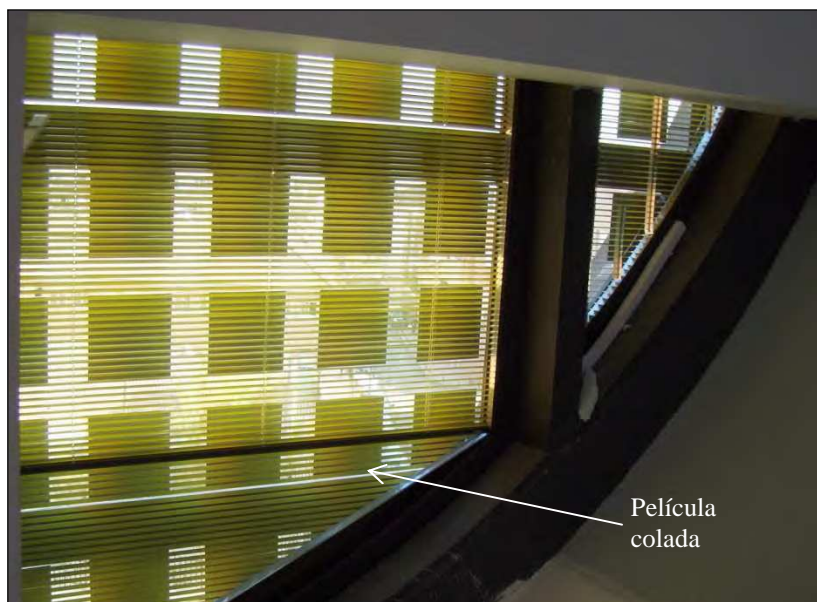


Figura 56. Solução de película colada para vidros molde.

No caso dos vidros rectangulares da zona superior da fachada, por condicionante de medida, foi aplicado um painel sandwich à cor no lugar do vidro com estore, como se pode observar

na Figura 57, porque o vidro era demasiado pequeno e seria muito difícil fabricar um estore com uma altura tão pequena.



Figura 57. Quadro fotovoltaico com painel sandwich no pano interior.

Duas situações que ocorreram com frequência na obra foram as seguintes: alguns estores chegavam à obra com os fios partidos, como se apresenta na Figura 58, neste caso a solução foi encomendar vidros novos, a outra situação imprevista que surgiu no decorrer da obra, foi o facto de as lâminas dos estores colarem umas às outras. Esta situação foi resolvida deixando as lâminas na posição horizontal com o sol a incidir sobre elas durante alguns dias e após esse período foi necessário transmitir alguma vibração às lâminas para poderem descolar. Na Figura 59 podem-se observar algumas lâminas coladas.



Figura 58. Estore com os fios partidos.



Figura 59. Vidros com estore com as lâminas coladas.

4.1.2.3.3. Condensações

Uma das situações mais preocupantes que surgiu foi o aparecimento de condensações no interior da câmara-de-ar entre o vidro com estore (interior) e o vidro fotovoltaico (exterior) após a sua aplicação. Na Figura 60 apresenta-se um módulo com condensação na face interior do vidro.



Figura 60. Quadro de vidro fotovoltaico com condensações no interior.

Na fachada fotovoltaica 90% dos quadros de vidro apresentavam este problema de condensações. Foi desmontado um vidro com estore e verificou-se que existia pressão no interior da caixa do quadro, pois ouviu-se o som característico de uma despressurização quando o vidro foi removido, e também existia uma quantidade considerável de água no perfil inferior do quadro onde estão os filtros. Verificou-se ainda que no final do dia as condensações tinham desaparecido do módulo analisado.

Uma das causas que se suspeitou que pudesse ter causado este fenómeno foi o facto de, dois dias antes durante a noite, ter havido uma forte chuvada associada a ventos fortes.

Após uma semana foi efectuada uma nova inspecção aos vidros da obra pelo interior e não se detectaram condensações dentro da câmara-de-ar do quadro. Também foi desmontado o mesmo vidro que tinha sido desmontado anteriormente e não houve sinal de pressão na câmara-de-ar.

Foi efectuada também uma vistoria pelo exterior do edifício e foram detectadas algumas condensações localizadas, conforme se pode observar na Figura 61.



Figura 61. Vidro fotovoltaico com condensações no interior.

Foi efectuada uma análise a todos os factores que poderiam ter contribuído para a ocorrência das condensações:

1. O quadro em obra estava armazenado conforme ilustra a Figura 62, estava colocado com os filtros expostos à entrada de ar e água, a posição correcta seria o quadro estar na posição em que fica montado em obra, ou seja, o lado com os filtros devia estar apoiado no cavalete.



Figura 62. Posição do vidro fotovoltaico no cavalete.

2. Existem furações nos quadros para passagem de cabos, como apresentado na Figura 63, no entanto foi injectada água para dentro dessa zona e verificou-se que água circulava por dentro do perfil e nunca passava para o interior da caixa.



Figura 63. Furações para passagens de cabos.

3. Na zona das barretes (perfis em barra de alumínio anodizado) de colagem do vidro, na separação das travessas, existe um orifício, como apresentado na Figura 64, mas foi injectada água para dentro dessa zona, como ilustra a Figura 65, e verificou-se que água circulava por dentro do perfil e nunca passava para o interior da câmara-de-ar.



Figura 64. Orifício na zona da barrete.



Figura 65. Injecção de água no buraco na zona da barrete.

Para se poder compreender o fenómeno, foi efectuado um teste num quadro que estava no armazém na fábrica em Portugal. O procedimento foi o seguinte:

- ✓ Quadro colocado no exterior ao sol, na posição correcta de montagem em obra, ou seja, com os filtros na parte inferior;
- ✓ Verificação visual do quadro durante o dia seguinte não revelou sinais de humidade;
- ✓ Colocação de 1 litro de água através dos filtros para dentro da caixa do quadro, de manhã cedo, no dia seguinte à colocação do quadro ao sol.
- ✓ Verificação visual do quadro depois de ter sido introduzida a água durante esse dia não revelou sinais de humidade.
- ✓ Verificação visual do quadro durante o dia seguinte a ser introduzida a água revelou que a água tinha evaporado, mas apresentava alguns pontos de humidade junto à colagem do vidro fotovoltaico, conforme ilustra a Figura 66.



Figura 66. Pontos de humidade junto à colagem do vidro fotovoltaico.

Foi ainda colocada a possibilidade do problema das condensações ter despoletado dos produtos de limpeza utilizados na limpeza dos vidros.

A limpeza dos vidros foi efectuada com material apropriado: escova, líquido de limpeza de vidro e desengordurante para alumínio, conforme apresentado na Figura 67.



Figura 67. Escova e líquido de limpeza de vidro e desengordurante de alumínio.

A inspecção aos vidros nas semanas seguintes ao aparecimento das condensações revelou que todas as condensações tinham desaparecido.

A conclusão tirada foi de que se tratou de um fenómeno que não devia ter ocorrido em condições normais de funcionamento da fachada. A água pode ter entrado durante o armazenamento em obra do quadro, pois o quadro estava colocado no cavalete com os filtros expostos à entrada de ar e água no dia em que houve ventos e chuvadas fortes, o que pode ter originado a entrada de água para a câmara-de-ar através dos filtros onde pode ter ficado retida. Passados dois dias, com a temperatura a rondar os 30°C, a água pode ter sido transformada em vapor o que originou as condensações no interior da câmara-de-ar do quadro.

4.1.2.3.4. Cabos livres de halogéneos

Todos os cabos e equipamentos eléctricos neste projecto são livres de halogéneos, ou seja, são materiais que em caso de incêndio não libertam gases nocivos. Esta foi uma exigência da obra, o que obrigou a procurar no mercado material que cumprisse este requisito, que inicialmente não estava previsto. Os cabos eléctricos livres de halogéneos diferenciam-se dos convencionais, por gerarem durante a sua combustão, uma quantidade mínima de monóxido e dióxido de carbono e de ácido clorídrico. Esta característica permite limitar a contribuição dos

cabos para os fumos gerados num incêndio, reduzindo assim, o risco por inalação de gases, que é a principal causa de mortalidade nos incêndios [70].

Na Figura 68 apresenta-se o aspecto de cabos livres de halogéneos após a ocorrência de um incêndio.



Figura 68. Aspecto de cabos livres de halogéneos depois de um incêndio.

4.1.3. Projecto de instalação Fotovoltaica

A instalação fotovoltaica deste edifício aplica o conceito de BIPV (Building Integrated Photovoltaic), estando os módulos fotovoltaicos integrados numa fachada do edifício e em três clarabóias. O projecto fotovoltaico é global, ou seja, o projecto inclui fachada e clarabóias, que não podem ser dissociados pois a produção de energia é efectuada considerando a soma destes dois elementos e as próprias conexões eléctricas são interligadas. Estes módulos multifuncionais prefabricados são constituídos por laminados fotovoltaicos vidro-vidro com uma opacidade de 45%, transparência de 55% e células distribuídas uniformemente.

A superfície fotovoltaica nas fachadas é de 611m² e 33m² para as clarabóias. Na Figura 69 pode-se observar a fachada fotovoltaica e as três clarabóias na cobertura.



Figura 69. Superfície fotovoltaica da fachada e das clarabóias.

A instalação da produção descentralizada contará com um total de 542 módulos activos na fachada e 22 módulos activos nas clarabóias, com potências compreendidas entre 13,8Wp e 64,13Wp, totalizando uma potência pico de 21,67kWp na fachada, de 1,17kWp nas clarabóias e com 4 inversores monofásicos com potência nominal conjunta de 19kW.

Com este sistema transforma-se a energia da radiação solar em energia eléctrica que será encaminhada e vendida à rede pública de distribuição espanhola.

A produção que se consegue é semelhante a uma pequena central de produção eléctrica, que encaminha toda a electricidade produzida na rede de distribuição eléctrica, e que segundo a normativa vigente se facturará todos os meses.

O sistema de instalação fotovoltaica é conectado à rede, a instalação é do tipo I.1 (situada em fachada e cobertura, dedicada a uso de serviços, e com potência inferior ou igual a 20kW [71]), a potência pico é de 22,84kWp e a potência nominal é de 19kW.

4.1.3.1. Estrutura de suporte

A estrutura que integra os vidros laminados fotovoltaicos é a da fachada VEC Respirante, e na cobertura os perfis de alumínio das clarabóias.

Os módulos fotovoltaicos, que formam a fachada respirante, apoiam-se directamente sobre a estrutura de alumínio. Para tal os quadros ou módulos fotovoltaicos são ligados à estrutura primária através de fixações mecânicas, que já está preparada para as receber.

A perfilaria de alumínio da fachada e das clarabóias tem de cumprir os requerimentos mecânicos, e tem de oferecer a impermeabilização exigida.

Os cabos têm de ficar alojados no interior da perfilaria de alumínio, o que, para além de melhorar a estética do conjunto, protege os cabos e se garante a segurança das pessoas.

4.1.3.2. Gerador Fotovoltaico

O gerador fotovoltaico é formado por uma distribuição de 542 módulos numa das fachadas do edifício, com uma potência pico de 21,67kWp e 22 módulos nas três clarabóias da cobertura com uma potência pico de 1,17kWp.

Os módulos utilizados na instalação são do tipo vidro-vidro, em que as células solares são encapsuladas entre os dois vidros, permitindo o acesso de uma percentagem de luz em consonância com a percentagem de transparência do vidro. Os vidros utilizados são de resinas líquidas como material encapsulante, mais resistente aos raios UVA (a radiação UV subdivide-se em vários tipos, os UVA são designados raios de onda longa, 400 até 320nm, [72]). O seu desenho específico ajustado à medida do projecto permite adequá-los à modulação concreta da fachada e das clarabóias.

As células fotovoltaicas são de tecnologia policristalina na fachada e nas clarabóias.

São utilizados vários tipos de módulos na instalação, que se distinguem entre si pelas suas dimensões, número de células, e consequentemente pela sua potência. Os módulos foram criados de acordo com as especificações do projecto, nomeadamente, a largura, a altura e a espessura. Estes módulos cumprem as especificações da norma EN 61215 [11].

Todos os vidros fotovoltaicos possuem um esquema de ligação das células fotovoltaicas com a indicação dos pólos positivos e negativos, como se pode observar na Figura 70. O esquema de ligação de toda a fachada pode ser consultado no Anexo G.

Na Figura 71 apresenta-se uma conexão em série entre dois vidros fotovoltaicos e na Figura 72 apresenta-se uma ligação de um cabo de um vidro fotovoltaico a um cabo da série E.

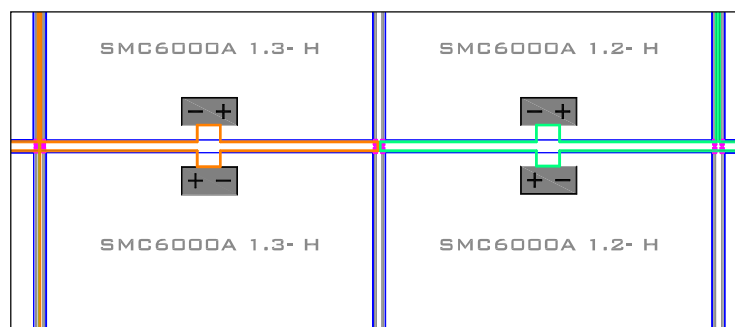


Figura 70. Pormenor de ligação dos vidros fotovoltaicos.



Figura 71. Conexão em série entre dois vidros fotovoltaicos.



Figura 72. Ligação do cabo da série E (E-) ao vidro correspondente.

Na Figura 73 apresentam-se os diversos vidros aplicados na fachada com as células representadas e na Figura 74 apresenta-se um pormenor da peça de ligação dos vidros fotovoltaicos aos cabos.

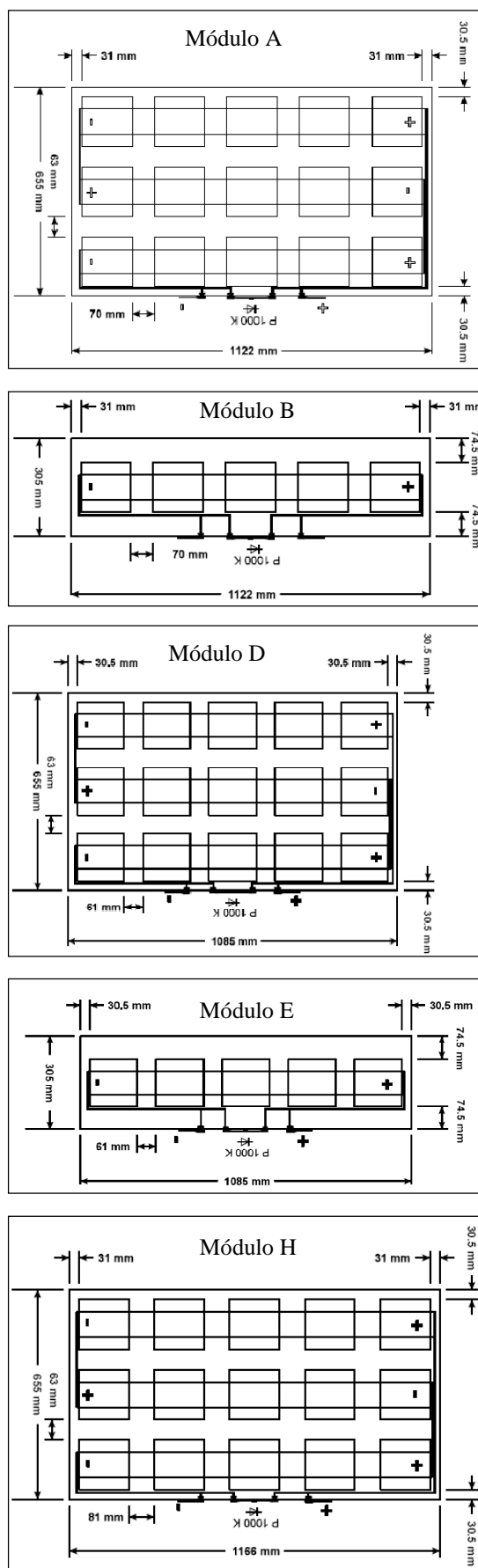


Figura 73. Módulos vidro-vidro fotovoltaicos utilizados na fachada.

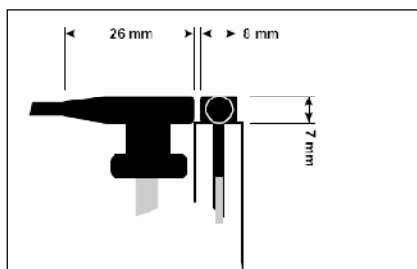


Figura 74. Pormenor da peça de ligação dos vidros fotovoltaicos aos cabos.

Na Tabela 8 apresentam-se as principais características eléctricas e dimensionais dos vários tipos de módulos vidro-vidro da fachada e na Tabela 9 apresentam-se essas mesmas características para as clarabóias.

Tabela 8. Características dos módulos vidro-vidro da fachada.

	Designação do módulo				
	A	B	D	H	E
Características eléctricas					
Potência Pico, Pp (W)	41,3	13,8	42,5	39,9	14,2
Tensão de máxima potência, Vmp (V)	6,2	2,1	6,4	6	2,1
Intensidade de máxima potência, Imp (A)	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Intensidade de curto-circuito, Icc (A)	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
Tensão de circuito aberto, Vca (V)	9	3	9	9	3
Características dimensionais					
Comprimento (mm)	1122	1122	1085	1166	1085
Largura (mm)	655	305	655	655	305
Espessura (mm)	12	12	12	12	12
Peso (kg)	20	9	19	21	9

Tabela 9. Características dos módulos vidro-vidro das clarabóias.

	Designação do módulo							
	L1.1	L1.2	L1.3	L1.4	L2.1	L2.2	L2.3	L3
Características eléctricas								
Potência Pico, Pp (W)	47,2	47,2	47,2	58,3	55	44,5	44,5	47,2
Tensão de máxima potência, Vmp (V)	7,3	7,3	7,3	9	8,4	6,8	6,8	7,3
Intensidade de máxima potência, Imp (A)	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Intensidade de curto-circuito, Icc (A)	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
Tensão de circuito aberto, Vca (V)	12,1	12,1	12,1	14,5	14,5	12,1	9	12,1
Características dimensionais								
Comprimento (mm)	1072	1063	1055	1290	1389	1184	1177	1051
Largura (mm)	994	994	994	994	900	900	900	946
Espessura (mm)	14	14	14	14	14	14	14	14
Peso (kg)	34	34	34	41	30	34	34	34

Tanto no caso da fachada como nas clarabóias, os valores das características eléctricas são obtidos em condições standard de medida: incidência normal, irradiância de 1000W/m^2 , espectro de 1.5 A.M. e 25°C de temperatura de célula.

4.1.3.3. Inversores

Para a conversão da corrente contínua gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente alternada com as mesmas características (tensão e frequência) que a instalação eléctrica do edifício, utilizam-se diversos inversores.

Estes inversores são responsáveis pela conexão à rede eléctrica com uma potência de entrada variável de modo que sejam capazes de extrair em qualquer momento a máxima potência que o gerador fotovoltaico pode proporcionar ao longo de cada dia.

As características básicas dos inversores são as seguintes [73]:

- ✓ Princípio de funcionamento em fonte de corrente;
- ✓ Autocomutado;
- ✓ Seguimento automático do ponto de máxima potência do gerador;
- ✓ Não funciona em modo isolado, pois inclui uma protecção interna que o desconecta em situações de rede isolada.

Os inversores estão localizados na sala técnica, tal como se pode verificar na Figura 75. A referência QPCC significa quadro de protecção de corrente contínua e QPCA significa quadro de protecção de corrente alternada.

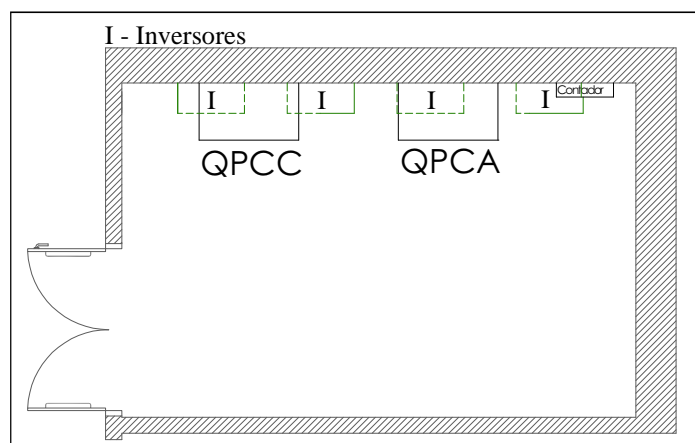


Figura 75. Planta da sala técnica.

São utilizados 4 inversores monofásicos, 3un SMC 6000A de 6kW para os módulos da fachada e 1un SB 1100 de 1kW para os módulos das clarabóias, possuindo um sistema trifásico com potência nominal de 19kW, como se pode comprovar na Figura 76.



Figura 76. Inversores instalados na sala técnica.

Os inversores entregam potência à rede de forma contínua a partir de condições de irradiância solar de 10% das CEM (Condições standard de medida). A tensão nominal de corrente alternada de saída de cada inversor será monofásica com 230V.

As protecções de tensão nominal do inversor estão preparadas para valores de 0,85V e 1,1V. O valor de rendimento europeu (ou grau de eficiência europeu) é de 95,2% para o inversor SMC 6000A e de 91,6% para o inversor SB 1100.

Na Figura 77 apresenta-se a curva de rendimento para o inversor SMC 6000A. A referência $PAC_{máx}$ designa a potência máxima em corrente alternada, a referência UMPP designa o nível de tensão do MPPT (ponto de potência máxima) e a referência UCC designa a tensão de corrente contínua.

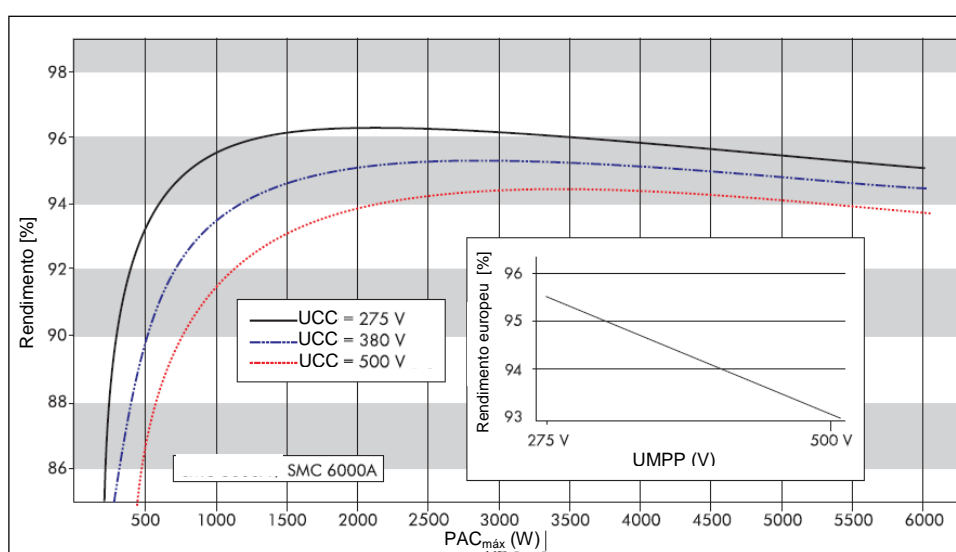


Figura 77. Curva de rendimento do inversor SMC 6000A [73].

O factor de potência deverá ser superior a 0,95 entre 25 e 100% da potência nominal. O microprocessador de controlo garante que não se superará em mais de 5% o valor de distorção de intensidade. O auto consumo dos inversores em modo nocturno será inferior a 0,5% da sua potência nominal.

Os inversores estão garantidos para operar nas seguintes condições ambientais: entre - 25°C e 60°C de temperatura e 0% a 100% de humidade relativa. O inversor tem um grau de protecção mínimo IP 20 [73].

Os inversores incorporam protecções contra as seguintes incidências [73]:

- ✓ Funcionamento em modo isolado;
- ✓ Variações de tensão de rede (0,85Un -1,1Un). Esta protecção é inacessível para o usuário;
- ✓ Variações de tensão de rede (49Hz – 51Hz). Esta protecção é inacessível para o usuário;
- ✓ Curto-circuitos em regime alternado;
- ✓ Perturbações presentes na rede como micro-cortes, movimentos, defeitos de ciclos, ausência e retorno da rede, etc...
- ✓ Sobreensões em CC (corrente contínua) e CA (corrente alternada) através de descarregadores de tensão;
- ✓ Polarização inversa;
- ✓ Falhas de isolamento em CC;
- ✓ Sobretemperaturas.

Existe um transformador de isolamento galvânico de 50Hz que garante uma correcta separação galvânica entre o campo fotovoltaico e a rede de distribuição. Todos os inversores são conectados à terra.

Na Tabela 10 apresentam-se as principais características dos inversores utilizados.

Tabela 10. Características dos inversores utilizados [73].

	Tipo de inversor	
	SMC 6000A	SB 1100
Entrada CC		
Potência máxima CC, $P_{DC\text{máx}}$ (W)	6300	1210
Tensão máxima CC, $U_{CC\text{máx}}$ (V)	600	400
Nível de tensão MPPT, UMPP (V)	246 - 480	139 - 320
Corrente máxima de entrada, $I_{PV\text{máx}}$ (A)	26	10
Número de seguidores de MPP	1	1
Número máximo de strings em paralelo	4	2

	Tipo de inversor	
	SMC 6000A	SB 1100
Saída CA		
Potência máxima CA, $PAC_{m\acute{a}x}$ (W)	6000	1100
Potência nominal CA, PAC_{nom} (W)	6000	1000
Distorção harmónica (%)	< 4	< 4
Tensão nominal AC, UCA_{nom} (V)	220 - 240	220 - 240
Frequência nominal AC, FCA_{nom} (Hz)	50	50
Factor de potência ($\cos \phi$)	1	1
Rendimento		
Rendimento máximo/europeu (%)	95,2/96,1	93,0/91,6
Especificações gerais		
Largura x altura x profundidade (mm)	468x613x242	434x295x212
Peso (kg)	63	22
Grau de protecção	IP65	IP65

4.1.3.4. Sistema de monitorização

A instalação fotovoltaica está dotada de equipamentos de monitorização (estão instalados 1 *Sunny Webbox* e 2 *Sunny Sensorbox*) capazes de registar as mais diversas variáveis do sistema. Na Figura 78 podem-se observar uma *Web box* e um *sensor box*.

Na Figura 79 apresenta-se a planta com o sistema de monitorização na sala técnica.



Figura 78. Web box e sensor box.

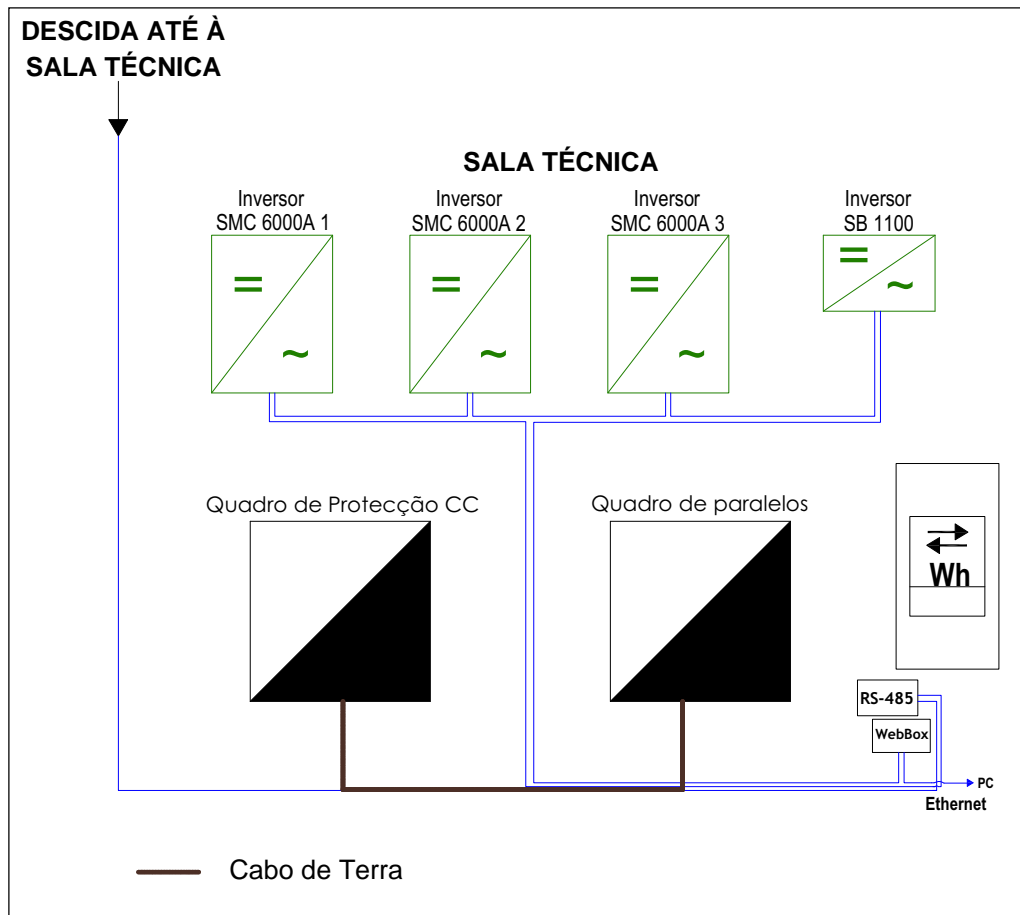


Figura 79. Sistema de monitorização na sala técnica.

Está instalada uma pequena estação meteorológica, composta por alguns periféricos que efectuem o registo dos seguintes dados:

- ✓ Radiação incidente nos módulos fotovoltaicos (fachadas e coberturas), através do *sensor box*;
- ✓ Velocidade do vento.

O *Sunny Sensorbox* é uma das estações de medição mais pequenas do mercado e possui as seguintes funções [73]:

- ✓ Efectua a medição da radiação incidente no plano dos módulos e oferece a possibilidade de conectar os restantes sensores (temperatura ambiente e anemómetro);
- ✓ Efectua a análise completa do rendimento da instalação fotovoltaica;
- ✓ Efectua o registo de irradiação, temperatura do módulo, temperatura ambiente e velocidade do vento;
- ✓ Permite a avaliação dos dados num PC;

- ✓ Possibilita a conexão a outros sensores, como por exemplo, para a medição da temperatura ambiente ou da velocidade do vento;

Através da irradiação actual pode-se calcular a potência teórica e compará-la com a potência efectiva à saída do inversor. Desta forma podem-se detectar facilmente falhas no gerador (Ex: degradação, falhas nos módulos, sombras, etc.).

Na Figura 80 pode-se observar uma representação do funcionamento da *Sensor Box*.

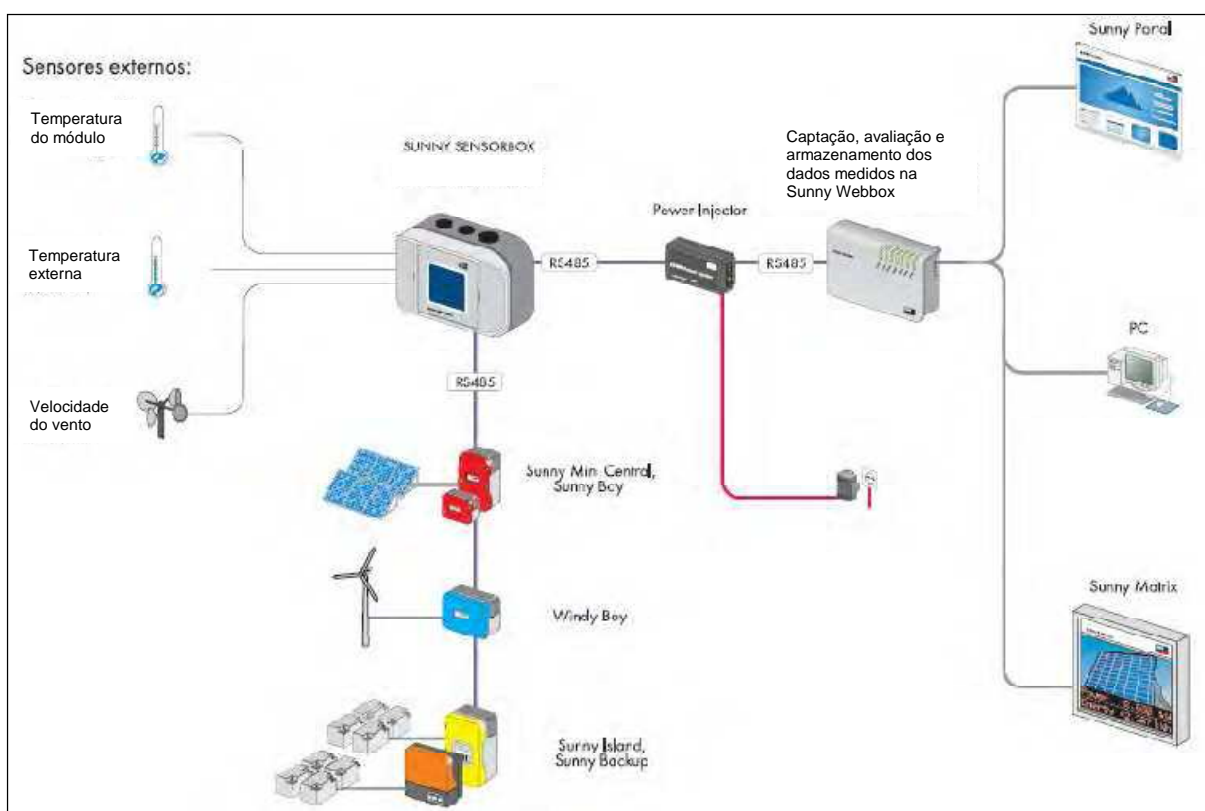


Figura 80. Representação esquemática do *Sensor Box* [73].

As principais vantagens da *Sunny Webbox* que a tornam uma mais-valia para a instalação, são as seguintes [73]:

- ✓ Monitorização contínua da instalação;
- ✓ Detecção antecipada de falhas de funcionamento;
- ✓ Registo de acessos;
- ✓ Armazenamento de dados para a sua avaliação através de Microsoft Excel, por exemplo;
- ✓ Diagnóstico e configuração da instalação;
- ✓ Transmissão automática de dados em intervalos de tempo seleccionados;
- ✓ Tratamento de dados e representação gráfica na internet.

Na Figura 81 pode-se observar uma representação do funcionamento da *Web Box*.

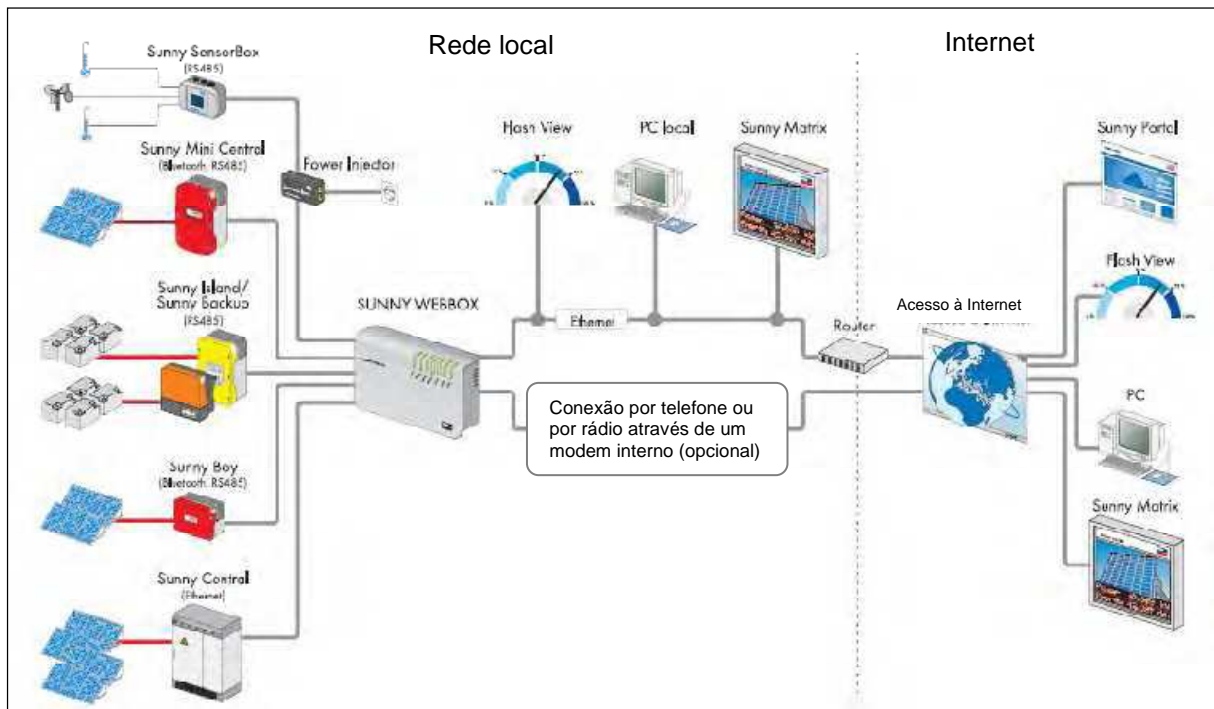


Figura 81. Representação esquemática da *Web Box* [73].

A comunicação entre inversores, estação meteorológica, *sensor boxes* e *Web box* é estabelecida através de uma rede RS-485 (*recommended standard 485*, padrão produzido pela EIA, *Electronic Industry Association*, são comunicações de dois fios, half-duplex, diferencial e multi-ponto com 32 nodos [74]).

Para visualização dos dados da instalação colocou-se de um computador que está conectado à *Web box* através do interface *Ethernet*. Em combinação com a *Web box* são visualizados constantemente, a potência actual, a entrada energética diária, a produção energética total e CO₂ evitado [73].

Por outro lado, em combinação com a *sensor box*, é visualizada a temperatura ambiente e irradiação no plano dos módulos e a velocidade do vento.

4.1.3.5. Conexão da instalação fotovoltaica à rede eléctrica

A legislação exige que a conexão das centrais fotovoltaicas garanta:

1. A segurança das pessoas em qualquer circunstância.
2. A operacionalidade e a integridade de todos os outros equipamentos conectados a ela.

É, portanto, muito importante assegurar que a instalação não tenha um funcionamento isolado. Para esse efeito os inversores utilizados realizam uma vigilância contínua da rede em tensão e frequência desconectando-se da mesma quando as variações que apresentem tais parâmetros se encontrem fora dos princípios fixados no Real Decreto 436/2004 [57] e no Real Decreto 1663/2000 [58].

O gerador fotovoltaico apresenta uma configuração flutuante na parte contínua, o que significa que ambos os pólos estão isolados da terra. Esta configuração elimina qualquer possibilidade de através do sistema fotovoltaico, se estabelecerem conexões entre o neutro da alimentação e a terra. Adicionalmente existe separação galvânica entre a central fotovoltaica e a rede graças a um transformador de isolamento galvânico que está incorporado nos próprios inversores.

Em relação ao modo de conexão, este é trifásico, garantindo uma alta qualidade do sinal gerado, já que os inversores apresentam uma distorção harmónica inferior a 4% e permite seleccionar o $\cos(\varphi)$ (φ = ângulo de desfase).

4.1.3.6. Protecções eléctricas

Na hora de projectar correctamente uma instalação fotovoltaica conectada à rede há que garantir por um lado, a segurança das pessoas, tanto utentes como operários, e por outro, que o normal funcionamento do sistema fotovoltaico não afecte a operação nem a integridade de outros equipamentos e sistemas conectados a instalação eléctrica do edifício.

Num sistema fotovoltaico é normalmente executada uma distinção entre a parte de corrente contínua e a de corrente alternada. No Anexo H encontra-se o desenvolvimento do estudo das protecções eléctricas de corrente contínua e corrente alternada.

4.1.3.7. Contagem de energia

Para contabilizar a energia produzida, para efeitos de facturação, está instalado um contador bidireccional, que está de acordo com o ITC-BT-16 [32]:

- ✓ Está localizado numa caixa com tampa, e cumpre a norma UNE-EN 60439 [45] partes 1, 2 e 3;
- ✓ Possui um grau de protecção mínimo IP43 (índice de protecção 43, protecção contra objectos sólidos com diâmetro igual ou superior a 1mm, e protecção contra água vaporizada, EN 60529 [75]).

O contador cumpre os requerimentos da empresa de distribuição eléctrica, que neste caso é a Iberdrola.

4.1.3.8. **Ligação à terra**

O objectivo da instalação da ligação à terra é limitar a tensão que se possa apresentar num determinado momento, devido às massas metálicas fixas e móveis, possibilitar a detecção de defeitos da ligação à terra e assegurar a actuação e coordenação das protecções, eliminando ou minimizando o risco que supõe uma avaria no material eléctrico utilizado.

A instalação fotovoltaica dispõe de uma rede de terras, à qual se unem as massas metálicas da instalação não submetidas a tensão eléctrica.

A rede de ligação à terra de protecção desta instalação está conectada à rede de terra de protecção da instalação eléctrica do edifício, a que se unem as massas metálicas da instalação não submetidas a tensão eléctrica.

4.1.3.9. **Canalizações eléctricas**

Nesta secção procede-se ao desenvolvimento do estudo cablagem de baixa tensão utilizada na instalação fotovoltaica, dividindo-se em cablagem de corrente contínua e cablagem de corrente alternada.

Tendo em conta o documento de “Condições Técnicas de Instalações Conectadas à Rede” do IDAE (instituto para a diversificação e poupança de energia [76]), a cablagem tem de respeitar os seguintes pontos:

- ✓ Os condutores positivos e negativos de cada grupo de módulos são conduzidos em separado e protegidos de acordo com a normativa vigente;
- ✓ Os condutores têm a secção adequada para evitar quedas de tensão e aquecimentos. Concretamente, para qualquer condição de trabalho, os condutores da parte CC possuem a secção suficiente para que a queda de tensão seja inferior a 1,5% e os da parte CA para que a tensão seja inferior a 2%, tendo em ambos os casos como referencia as tensões correspondentes das caixas de conexões.
- ✓ Inclui-se todo o comprimento do cabo CC e CA. O cabo possui o comprimento necessário para não gerar esforços nos diversos elementos nem possibilitar a intersecção pela passagem normal de pessoas.
- ✓ Toda a cablagem contínua será de duplo isolamento e adequada para a utilização em intempérie, ao ar ou enterrada, de acordo com a norma UNE 21123 [77].

No Anexo G está representado o seguinte:

- ✓ Um alçado com as ligações em corrente contínua dos vidros fotovoltaicos das fachadas;
- ✓ Uma planta com o percurso de cabos de corrente contínua das clarabóias;
- ✓ Pormenores das conexões de corrente contínua e alternada (esquema multifilar);
- ✓ Um corte vertical longitudinal do edifício com o percurso de cabos de corrente contínua;
- ✓ Uma planta da descida da cobertura para a sala técnica, dos cabos de corrente contínua;
- ✓ Uma planta do percurso de cabos de corrente contínua no piso 0;
- ✓ Uma planta do percurso de cabos de corrente contínua no piso -2;
- ✓ Diversos pormenores dos percursos de cabos nas várias plantas do edifício.

No Anexo I encontra-se o desenvolvimento do estudo da cablagem de corrente contínua, da cablagem de corrente alternada e do percurso de cabos.

4.1.3.10. Dimensionamento do gerador fotovoltaico

Para o dimensionamento deste tipo de instalações, há que ter em conta as diferenças de comportamento que existem entre o gerador fotovoltaico e a rede eléctrica:

- ✓ A rede eléctrica é uma fonte de tensão, enquanto um gerador fotovoltaico é uma fonte de intensidade limitada. A corrente de curto-circuito de um sistema fotovoltaico, é determinada pelas características dos módulos fotovoltaicos utilizados, e em general não é superior a 1,3 vezes a intensidade nominal;
- ✓ O gerador fotovoltaico é um sistema distribuído, com base em pequenos geradores, que se unem em série e em paralelo para conseguir os parâmetros nominais de funcionamento.

4.1.3.10.1. Secções de cabos

O dimensionamento dos condutores realiza-se, do ponto de vista de intensidade de corrente e queda de tensão, considerando a utilização total da potência prevista para cada circuito.

Para a selecção dos condutores activos do cabo, adequado a cada carga, utiliza-se o mais desfavorável entre os seguintes três critérios:

1. Intensidade máxima admissível. A intensidade considerada é a própria de cada carga. Para calcular o cabo de conexão à rede, desde o inversor até ao ponto de ligação da empresa de electricidade, toma-se como parâmetro de intensidade, o valor de 125% da intensidade nominal. A intensidade deverá ser superior à máxima admissível para a secção escolhida de acordo com os seguintes critérios:

- Determina-se a intensidade máxima admissível a partir da instalação tipo de referência, o isolamento do cabo e o tipo de circuito;
 - Esta intensidade corrige-se com os factores de correcção por agrupamento, temperatura, exposição ao sol, tipos de bandeja e montagem das bandejas, condutividade, etc;
 - Todos estes valores, tanto para aéreos ou enterrados, serão dados nas tabelas da norma UNE 20460-5-523 [38].
2. Queda de tensão em serviço. A secção dos condutores a utilizar determina-se de modo que a queda de tensão entre o gerador e o ponto de interconexão à rede de distribuição pública seja menor do que 1,5%, segundo estabelece a ITC-BT-40, do REBT (Regulamento electrónico para baixa tensão) [34].
 3. A secção do condutor neutro será a especificada na Instrução ITC-BT-07 [31], em função da secção dos condutores da fase da instalação.

Dimensionamento de secções por critério térmico:

Para o dimensionamento das secções por aquecimento, é preciso calcular a intensidade de corrente que circula pelo circuito e obter a intensidade de cálculo, e com esse valor, estabelecer a secção adequada a partir das tabelas da norma UNE 20460-5-523 [38].

Executa-se o cálculo do troço que se encontra nas condições mais desfavoráveis. A secção mínima de cada troço depende da intensidade que circula por ele (a carga que suporta), o tipo de instalação de referência, e está corrigida pelos factores correspondentes à temperatura, resistividade do terreno, profundidade (no caso de cabos enterrados), e ao número de circuitos adjacentes.

Dimensionamento de secções por critério de queda de tensão:

No dimensionamento por queda de tensão, aplica-se o seguinte critério: a temperatura ambiente é de 40°C para cabos ao ar, ou 25°C para cabos enterrados e a temperatura de cálculo é a máxima temperatura de utilização do tipo de cabo aplicado, 90°C para isolamentos XLPE (ou PEX, polietileno reticulado) referência e 70°C para isolamentos de PVC.

Para efeitos de dimensionamento de secções, no seccionamento do gerador fotovoltaico, consideram-se de forma independente a parte da instalação pela que se estende a corrente continua e a parte por onde circula a corrente alternada.

4.1.3.10.1.1. Cablagem de corrente contínua

A queda de tensão deve ser calculada com base na seguinte fórmula:

$$\Delta U = 2 \times I \times L \times R \quad (1)$$

Onde:

ΔU : Queda de tensão (V) entre o início e o fim da canalização entre bornes (positivo e negativo);

L : Comprimento da linha (km);

R : Resistência aparente do condutor a temperatura de funcionamento (Ω/km).

A : intensidade, I , para cada ramal será a do ponto de máxima potência dos módulos, ao estarem conectados em série. A intensidade, I , no ponto de máxima potência para os ramaís da fachada é de 6,6A e para o ramal da calarabóia é de 6,93A.

Na Tabela 11, apresentam-se os resultados obtidos para a queda de tensão desde o final de cada ramal até aos respectivos inversores, para os módulos da fachada e das clarabóias.

Tabela 11. Quedas de tensão nos circuitos de corrente contínua.

Troços	Comprimento		Inversor		Secção	Intensidade	Queda de tensão	
	+ (m)	- (m)	+ (m)	- (m)			(mm ²)	(A)
FACHADA - SALA TÉCNICA								
Ramal 1 - Inversor 1 (SMC6000A1.1)	20,9	26,8	65,5	65,5	6	6,6	4,9	1,4
Ramal 2 - Inversor 1 (SMC6000A1.)	18,9	18,4	65,5	65,5	6	6,6	4,7	1,3
Ramal 3 - Inversor 1 (SMC6000A3.1)	18,2	18,2	65,5	65,5	6	6,6	4,6	1,3
Ramal 1 - Inversor 2 (SMC6000A2.1)	4	5,2	65	65	6	6,6	3,9	1
Ramal 2 - Inversor 2 (SMC6000A2.2)	4,2	4,2	65	65	6	6,6	3,8	1
Ramal 3 - Inversor 2 (SMC6000A2.3)	12,4	6	65	65	6	6,6	4,1	1,1
Ramal 1 - Inversor 3 (SMC6000A3.1)	13,6	10,7	65,5	65,5	6	6,6	4,3	1,2
Ramal 2 - Inversor 3 (SMC6000A3.2)	19,1	16,2	65,5	65,5	6	6,6	4,6	1,3
Ramal 3 - Inversor 3 (SMC6000A3.3)	28,1	13	65,5	65,5	6	6,6	4,8	1,3
CLARABÓIA - SALA TÉCNICA								
Ramal 1 - Inversor 4 (SB1100)	36	42	66,5	66,5	10	6,93	6,2	2

Em serviço permanente os cabos cumprem folgadamente a intensidade máxima admissível (ITC-BT- 19) [33].

4.1.3.10.1.2. Cablagem de corrente alternada

A queda de tensão no ponto mais afastado não deverá ultrapassar os 2%, segundo o IDAE [76]. Os condutores utilizados possuem isolamento XPLE e recobrimento composto termoplástico, pelo que os valores tomados para a resistência do condutor foram para uma temperatura máxima no condutor de 90° (serviço permanente).

A cablagem de corrente alternada divide-se em vários troços:

- ✓ Troço 1 (Monofásico) - Conexão dos diferentes inversores até ao quadro de paralelos (CE);
- ✓ Troço 2 (Trifásico) - Interconexão desde o quadro de paralelos (CE) até ao quadro de conexão à rede (CCE);

Troço 1:

Em função da potência nominal do inversor (P_n) em Watts, a intensidade (I) em Amperes de cada circuito é dada por:

$$I = \frac{P_n}{U} \quad (2)$$

Obtém-se os seguintes valores de intensidade, no troço dos diferentes inversores monofásicos até ao quadro de paralelos:

- ✓ Inversores da fachada:

$$I = \frac{P_n}{U} = \frac{6000}{230} = 26,1A \quad (3)$$

- ✓ Inversores das clarabóias:

$$I = \frac{P_n}{U} = \frac{1000}{230} = 4,35A \quad (4)$$

A queda de tensão é dada pela expressão:

$$cdt = 2 \times L \times R \times I \quad (5)$$

Onde:

L : comprimento do troço (km);

R : Resistência ôhmica do condutor (Ω/km);

I : Intensidade da linha (A).

Na Tabela 12 apresentam-se as quedas de tensão no troço 1.

Tabela 12. Quedas de tensão nos circuitos de corrente alternada no troço 1.

Troço 1	Comprimento	Potência	Secção	Intensidade	Resistência	Queda de tensão	
	(m)	(kW)	(mm ²)	(A)	(Ω/km)	(V)	(%)
Inversor 1 - CE (SMC 6000A 1)	3,6	6	6	26,1	3,93	0,74	0,3
Inversor 2 - CE (SMC 6000A 2)	2,9	6	6	26,1	3,93	0,6	0,26
Inversor 3 - CE (SMC 6000A 3)	3,1	6	6	26,1	3,93	0,6	0,28
Inversor 4 - CE (SB 1100)	4,4	1	2,5	4,35	9,45	0,4	0,17

Troço 2:

O troço 2 trata-se de um circuito trifásico, em que estamos perante a potência total dos inversores.

A intensidade, I em Amperes neste circuito é dada por:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \quad (6)$$

Pelo que se obtém:

$$I = \frac{19000}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 27,4A \quad (7)$$

A queda de tensão num ponto da rede é dada pela expressão:

$$cdt = \sqrt{3} \times R \times L \times I \times \cos \varphi \quad (8)$$

Onde:

L : comprimento do troço (Km);

R : Resistência ôhmica do condutor (Ω/km);

I : Intensidade da linha (A);

φ : Ângulo de desfase.

Na Tabela 13, apresentam-se os resultados obtidos para a queda de tensão no troço 2.

Tabela 13. Quedas de tensão nos circuitos de corrente alternada no troço 2.

Troço 2	Comprimento	Potência	Secção	Intensidade	Resistência	Queda de tensão	
	(m)	(kW)	(mm ²)	(A)	(Ω/km)	(V)	(%)
CE-CCR (SMC 6000A 1)	20	19	10	27,6	2,33	2,2	0,56

A máxima queda de tensão no troço de corrente alternada é de 0,88% (0,32% no troço 1 + 0,56% no troço 2), estando abaixo do limite máximo permitido.

No troço 1 a intensidade máxima admissível na cablagem é de 53A para os inversores da fachada e de 30A para o inversor das clarabóias, e no troço 2 é de 73A. Os valores das intensidades nestes circuitos estão muito abaixo destes valores e em serviço permanente, os cabos cumprem folgadoamente a intensidade máxima admissível (ITC-BT-19) [33].

4.1.3.10.2. Estudo de produção energética

A energia produzida por uma instalação fotovoltaica depende de três factores principais: a irradiância solar recebida sobre o plano do gerador fotovoltaico, a potência de pico instalada e o rendimento da instalação, no qual se reflectem as perdas associadas à instalação fotovoltaica (gerador fotovoltaico, inversores, cablagem, sombras, etc.).

Para estimar a produção energética pela instalação fotovoltaica considerada, parte-se dos seguintes dados de partida:

Para a fachada:

- ✓ Orientação: azimuth = -51°;
- ✓ Inclinação dos módulos fotovoltaicos: 90°;
- ✓ Potência pico do gerador fotovoltaico: 21,67kWp.

Para as clarabóias:

- ✓ Orientação: azimuth = 39°;
- ✓ Inclinação dos módulos fotovoltaicos: 30°;
- ✓ Potência pico do gerador fotovoltaico: 1,17kWp.

Para determinar a produção esperada pela instalação fotovoltaica utilizou-se um dos softwares mais reconhecidos no sector PVSyst 4.33[®] elaborado pela Universidade de Genebra, pelo qual se efectuou uma simulação para a produção esperada.

Os resultados de produção mensais encontram-se na Tabela 14 e na Tabela 15.

As referências apresentadas têm o seguinte significado:

- ✓ Glob_Hor: Radiação global horizontal;
- ✓ Temp_Amb: Temperatura ambiente;
- ✓ Glob_Inc: Radiação global incidente;
- ✓ Eout_Inv: Energia produzida.

Tabela 14. Produção mensal da fachada.

Mês	Glob_Hor (kWh/m ²)	Temp_Amb (°C)	Glob_Inc (kWh/m ²)	Eout_Inv (kWh)
Janeiro	66	5,5	80,4	834,7
Fevereiro	77	7,0	70,9	751,1
Março	141	9,3	118,4	1372,9
Abril	153	11,6	96,5	1083,0
Maiο	204	15,5	112,9	1315,1
Junho	223	20,4	113,2	1310,7
Julho	230	24,3	124,4	1428,1
Agosto	201	23,8	124,1	1416,6
Setembro	150	20,3	110,4	1220,9
Outubro	105	14,5	95,8	1036,2
Novembro	64	8,9	70,3	696,0
Dezembro	49	5,9	53,3	519,6
Anual	1663	13,92	1170,6	12984,9

Tabela 15. Produção mensal das clarabóias.

Mês	Glob_Hor (kWh/m ²)	Temp_Amb (°C)	Glob_Inc (kWh/m ²)	Eout_Inv (kWh)
Janeiro	66	5,5	94,9	102,7
Fevereiro	77	7,0	98,5	105,5
Março	141	9,3	160,7	173,2
Abril	153	11,6	158,1	167,5
Maiο	204	15,5	197,6	203,5
Junho	223	20,4	208,8	208,0
Julho	230	24,3	216,7	211,2
Agosto	201	23,8	202,0	197,8
Setembro	150	20,3	167,3	169,4
Outubro	105	14,5	126,2	133,0
Novembro	64	8,9	83,3	88,1
Dezembro	49	5,9	68,0	70,8
Anual	1663	13,92	1782,1	1830,7

4.1.3.11. Estudo económico

Nesta secção será abordada a questão económica do projecto, através da avaliação do investimento efectuado, do valor de venda da produção de energia, do valor líquido actual (VAL) e do período de recuperação do investimento (PRI).

4.1.3.11.1. Valor actual líquido (VAL) do cash flow

Para se perceber o conceito de valor actual líquido, é necessário ter uma ideia do conceito de actualização. Este conceito é inerente à possibilidade de aplicar capitais num dado momento, com o objectivo de obter um rendimento futuro.

Os agentes económicos, independentemente da inflação, da desvalorização cambial e do risco, preferem rendimentos imediatos a rendimentos futuros e estão dispostos a pagar um prémio (juro) pela desvantagem de deferir o consumo actual em troca de um consumo futuro.

Esta preferência pelo presente leva a afirmar que o valor do dinheiro com o decorrer do tempo advém da possibilidade de ele ser aplicado em activos durante o período de deferimento, possibilitando, com isso, a possível realização de um rendimento futuro, independentemente da inflação. Pode-se com isto concluir que uma unidade monetária no momento presente e uma unidade monetária no ano seguinte são dois bens financeiros distintos, não podendo ser comparados e muito menos adicionados [78].

Pode estabelecer-se a relação entre unidades monetárias desfasadas no tempo através do recurso ao sistema de preços, em que a taxa de juro é o valor da unidade monetária futura. Pode-se dizer então que o dinheiro recebido no futuro vale menos que o dinheiro recebido hoje, que um euro hoje vale mais que um euro dentro de um ano, é este o conceito de capitalização.

O valor temporal do dinheiro obtém-se através da seguinte equação:

$$VF = VA \times (1 + j)^n \quad (9)$$

Em que:

VF: Valor futuro do dinheiro;

VA: Valor actual do dinheiro;

J: Taxa de capitalização efectiva (taxa de juro);

n: Número do ano relativamente ao momento inicial ($n = 1; 2; 3; \text{etc.}$).

Através da Equação 9 pode ver-se que um investimento de 1000 € hoje (VA), investido a 10% (j) durante um ano ($n = 1$) dá um valor futuro de 1100 €. Se o investimento for por dois anos ($n = 2$) o VF será de 1210 € e assim consecutivamente.

Se a avaliação for efectuada de forma inversa, ou seja, se um investimento valer 1000 € dentro de um ano, para se poder avaliar quanto é que vale hoje para um custo do dinheiro (j) de 10%, é necessário efectuar descontos no valor presente – é o conceito de actualização (*cash flows* descontados).

Com base neste pressuposto, a Equação 9 pode ser escrita do seguinte modo:

$$VA = \frac{VF}{(1+j)^n} \quad (10)$$

Em que:

n : ano em que se verifica o *cash flow* ($n = 1, 2, 3, \dots$).

É necessário compreender o conceito de capital investido, que é o montante de fundos que uma empresa dedica à realização de um projecto de investimento.

Compreende as despesas de aquisição e construção, mas também de todos os custos para colocar em funcionamento os equipamentos – despesas com estudos e projectos e despesas de transporte, de instalação e de montagem.

O valor actual líquido é um critério financeiro destinado a avaliar investimentos através da comparação entre os *cash flows* gerados por um projecto e o capital investido.

Para determinar o VAL de um projecto é necessário efectuar cinco etapas:

1. Fixar a taxa de actualização (j);
2. Determinar o capital investido (se o projecto necessitar de várias despesas de capital durante vários períodos, é necessário actualizar essas saídas de fundos (*cash outflows*) para o período zero);
3. Actualizar cada *cash flow* de exploração utilizando a Equação 10;
4. Somar os *cash flows* de exploração actualizados (representa o valor actual do *cash flow* de exploração);
5. Subtrair o valor actual dos *cash flows* de exploração do custo do investimento.

Um projecto de investimento é considerado rentável quando o seu VAL é positivo. Quando existe um único investimento no momento inicial, aplica-se a expressão:

$$VAL = \sum_{p=0}^n \frac{CFp}{(1+j)^n} - I.I \quad (11)$$

Em que:

CFp: *Cash flow* de exploração do período *p*;

II: Despesa de investimento inicial;

J: Taxa de actualização.

4.1.3.11.2. Período de recuperação do investimento (PRI)

O PRI mede o número de períodos de tempo que decorrem até que os capitais investidos no projecto sejam recuperados.

O cálculo correcto deve ser efectuado com os valores actualizados do *cash flow* e do investimento, para tal utiliza-se o PRIA (Período de Recuperação do Investimento Actualizado), que é dado pela expressão:

$$VAL = \frac{n \times (\sum_{p=0}^n \frac{CFp}{(1+j)^n} - I.I)}{n \times (\sum_{p=0}^n \frac{Rp - Cp}{(1+j)^p})} \quad (12)$$

Em que:

Ip: Valor do investimento no período *p*;

Rp: Receitas de exploração do período *p*;

Dp: Despesas de exploração do período *p*;

Rp - Cp: *Cash flow* de exploração no período *p*;

j: Taxa de actualização utilizada;

n: Número de períodos da análise do projecto de investimento.

Neste caso e tendo em conta que o preço de venda à rede é de 0,34 €/kWh segundo o Real Decreto 1578/2008 [71], valor que está relacionado com a potência total dos inversores, chega-se à conclusão apresentada na Tabela 16 para o valor anual de venda da energia à rede. Na Tabela 17 apresentam-se os fluxos líquidos gerados pelo projecto para um período de 40 anos (arbitrado).

Tabela 16. Valor anual de venda de energia à rede.

	Área (m ²)	Produção (kWh)	Valor energia	Valor anual
Fachada	611,00	12984,90	0,34 €	4 414,87 €
Clarabóias	33,00	1830,70	0,34 €	622,44 €
Total	644,00	14815,60	0,34 €	5 037,30 €

Tabela 17. Fluxos líquidos gerados pelo projecto.

Anos	Cash Flow	Factor actualização (2,5%)	Cash flow actualizado	Cash flow acumulado
0	- 1 000 055,63 €	1,00	- 1 000 055,63 €	- 1 000 055,63 €
1	5 037,30 €	0,98	4 914,44 €	- 995 141,19 €
2	5 037,30 €	0,95	4 794,58 €	- 990 346,61 €
3	5 037,30 €	0,93	4 677,64 €	- 985 668,97 €
4	5 037,30 €	0,91	4 563,55 €	- 981 105,42 €
5	5 037,30 €	0,88	4 452,24 €	- 976 653,18 €
6	5 037,30 €	0,86	4 343,65 €	- 972 309,53 €
7	5 037,30 €	0,84	4 237,71 €	- 968 071,82 €
8	5 037,30 €	0,82	4 134,35 €	- 963 937,47 €
9	5 037,30 €	0,80	4 033,51 €	- 959 903,96 €
10	5 037,30 €	0,78	3 935,13 €	- 955 968,82 €
11	5 037,30 €	0,76	3 839,15 €	- 952 129,67 €
12	5 037,30 €	0,74	3 745,52 €	- 948 384,15 €
13	5 037,30 €	0,73	3 654,16 €	- 944 729,99 €
14	5 037,30 €	0,71	3 565,04 €	- 941 164,95 €
15	5 037,30 €	0,69	3 478,08 €	- 937 686,87 €
16	5 037,30 €	0,67	3 393,25 €	- 934 293,61 €
17	5 037,30 €	0,66	3 310,49 €	- 930 983,12 €
18	5 037,30 €	0,64	3 229,75 €	- 927 753,37 €
19	5 037,30 €	0,63	3 150,97 €	- 924 602,40 €
20	5 037,30 €	0,61	3 074,12 €	- 921 528,28 €
21	5 037,30 €	0,60	2 999,14 €	- 918 529,14 €
22	5 037,30 €	0,58	2 925,99 €	- 915 603,15 €
23	5 037,30 €	0,57	2 854,63 €	- 912 748,52 €
24	5 037,30 €	0,55	2 785,00 €	- 909 963,52 €
25	5 037,30 €	0,54	2 717,07 €	- 907 246,44 €
26	5 037,30 €	0,53	2 650,80 €	- 904 595,64 €
27	5 037,30 €	0,51	2 586,15 €	- 902 009,49 €
28	5 037,30 €	0,50	2 523,07 €	- 899 486,42 €
29	5 037,30 €	0,49	2 461,54 €	- 897 024,88 €
30	5 037,30 €	0,48	2 401,50 €	- 894 623,38 €
31	5 037,30 €	0,47	2 342,92 €	- 892 280,46 €
32	5 037,30 €	0,45	2 285,78 €	- 889 994,68 €
33	5 037,30 €	0,44	2 230,03 €	- 887 764,65 €
34	5 037,30 €	0,43	2 175,64 €	- 885 589,01 €
35	5 037,30 €	0,42	2 122,57 €	- 883 466,44 €
36	5 037,30 €	0,41	2 070,80 €	- 881 395,63 €
37	5 037,30 €	0,40	2 020,30 €	- 879 375,34 €
38	5 037,30 €	0,39	1 971,02 €	- 877 404,31 €
39	5 037,30 €	0,38	1 922,95 €	- 875 481,37 €
40	5 037,30 €	0,37	1 876,05 €	- 873 605,32 €

Na Tabela 18 apresentam-se os valores de cash flow gerados para o período de 40 anos e o PRIA.

Tabela 18. Período de recuperação do investimento atualizado.

Cash flow gerado (40 anos)	126 450,31 €
PRIA (anos)	316,35

4.1.3.12. Simulações

Nesta fase procede-se à realização de simulações de modo a aferir que situações provocam um aumento da produção de energia da fachada. A primeira proposta consiste em admitir a orientação da fachada na posição óptima (azimute = 0 °) e a segunda proposta consiste em alterar a área de fachada e de clarabóias proporcionalmente.

4.1.3.12.1. 1ª Proposta - Orientação da fachada em azimute = 0°

A primeira simulação está relacionada com o pressuposto de, sem alterar as áreas da fachada e das clarabóias, escolher a orientação mais favorável da fachada para a maior quantidade de produção de energia possível. Neste caso a solução consiste em orientar a fachada completamente a sul (azimute = 0°), mantendo a posição das clarabóias e a sua inclinação igual à situação real de obra.

Obtém-se para a produção de energia o resultado apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Produção mensal da fachada para azimute = 0°.

Fachada	Glob_Hor (kWh/m ²)	Temp_Amb (°C)	Glob_Inc (kWh/m ²)	Eout_Inv (kWh)
Janeiro	66	5,5	80,4	1241,7
Fevereiro	77	7	70,9	1165,9
Março	141	9,3	118,4	1756,2
Abril	153	11,6	96,5	1127,2
Maior	204	15,5	112,9	887,2
Junho	223	20,4	113,2	699,1
Julho	230	24,3	124,4	806,6
Agosto	201	23,8	124,1	1155,5
Setembro	150	20,3	110,4	1498,3
Outubro	105	14,5	95,8	1502
Novembro	64	8,9	70,3	1004,5
Dezembro	49	5,9	53,3	758,8
Anual	1663	13,92	1170,6	13603

Apresentam-se na Tabela 20 os valores anuais de venda da energia à rede para a fachada e clarabóias.

Na Tabela 21 apresentam-se os fluxos líquidos gerados pelo projecto para um período de 40 anos.

Tabela 20. Valor anual de venda de energia à rede.

	Área (m ²)	Produção (kWh)	Valor energia	Valor
Fachada	611,00	13603,00	0,34 €	4 625,02 €
Clarabóias	33,00	1830,70	0,34 €	622,44 €
Total	644,00	15433,70	0,34 €	5 247,46 €

Tabela 21. Fluxos líquidos gerados pelo projecto.

Anos	Cash Flow	Factor actualização (2,5%)	Cash flow actualizado	Cash flow acumulado
0	- 1 000 055,63 €	1,00	- 1 000 055,63 €	- 1 000 055,63 €
1	5 247,46 €	0,98	5 119,47 €	- 994 936,16 €
2	5 247,46 €	0,95	4 994,61 €	- 989 941,55 €
3	5 247,46 €	0,93	4 872,79 €	- 985 068,77 €
4	5 247,46 €	0,91	4 753,94 €	- 980 314,83 €
5	5 247,46 €	0,88	4 637,99 €	- 975 676,84 €
6	5 247,46 €	0,86	4 524,87 €	- 971 151,97 €
7	5 247,46 €	0,84	4 414,50 €	- 966 737,47 €
8	5 247,46 €	0,82	4 306,83 €	- 962 430,64 €
9	5 247,46 €	0,80	4 201,79 €	- 958 228,85 €
10	5 247,46 €	0,78	4 099,31 €	- 954 129,54 €
11	5 247,46 €	0,76	3 999,32 €	- 950 130,22 €
12	5 247,46 €	0,74	3 901,78 €	- 946 228,44 €
13	5 247,46 €	0,73	3 806,61 €	- 942 421,83 €
14	5 247,46 €	0,71	3 713,77 €	- 938 708,06 €
15	5 247,46 €	0,69	3 623,19 €	- 935 084,87 €
16	5 247,46 €	0,67	3 534,82 €	- 931 550,05 €
17	5 247,46 €	0,66	3 448,60 €	- 928 101,45 €
18	5 247,46 €	0,64	3 364,49 €	- 924 736,96 €
19	5 247,46 €	0,63	3 282,43 €	- 921 454,53 €
20	5 247,46 €	0,61	3 202,37 €	- 918 252,16 €
21	5 247,46 €	0,60	3 124,26 €	- 915 127,89 €
22	5 247,46 €	0,58	3 048,06 €	- 912 079,83 €
23	5 247,46 €	0,57	2 973,72 €	- 909 106,11 €
24	5 247,46 €	0,55	2 901,19 €	- 906 204,92 €
25	5 247,46 €	0,54	2 830,43 €	- 903 374,49 €
26	5 247,46 €	0,53	2 761,39 €	- 900 613,09 €

Anos	Cash Flow	Factor actualização (2,5%)	Cash flow actualizado	Cash flow acumulado
27	5 247,46 €	0,51	2 694,04 €	- 897 919,05 €
28	5 247,46 €	0,50	2 628,34 €	- 895 290,72 €
29	5 247,46 €	0,49	2 564,23 €	- 892 726,49 €
30	5 247,46 €	0,48	2 501,69 €	- 890 224,80 €
31	5 247,46 €	0,47	2 440,67 €	- 887 784,13 €
32	5 247,46 €	0,45	2 381,14 €	- 885 402,99 €
33	5 247,46 €	0,44	2 323,07 €	- 883 079,92 €
34	5 247,46 €	0,43	2 266,41 €	- 880 813,52 €
35	5 247,46 €	0,42	2 211,13 €	- 878 602,39 €
36	5 247,46 €	0,41	2 157,20 €	- 876 445,19 €
37	5 247,46 €	0,40	2 104,58 €	- 874 340,61 €
38	5 247,46 €	0,39	2 053,25 €	- 872 287,36 €
39	5 247,46 €	0,38	2 003,17 €	- 870 284,19 €
40	5 247,46 €	0,37	1 954,31 €	- 868 329,87 €

Na Tabela 22 apresentam-se os valores de cash flow gerados para o período de 40 anos e o PRIA na da primeira proposta.

Tabela 22. Período de recuperação do investimento actualizado.

Cash flow gerado (40 anos)	131 725,76 €
PRIA (anos)	303,68

Neste caso considerou-se a melhor orientação possível da fachada que seria completamente orientada a sul (azimute 0°), mas como se pode ver pelos resultados, o ganho anual em termos de produção de energia é muito pequeno, facto explicado pelo coeficiente de sombreamento, que entra em conta a sombra provocada pelos edifícios circundantes, e pelo facto de a inclinação dos módulos fotovoltaicos se ter mantido a 90°, uma vez que a fachada está sempre na vertical.

4.1.3.12.2. 2ª Proposta - Alteração das áreas da fachada e clarabóias

A segunda simulação está relacionada com o pressuposto de alterar a área de fachada e de clarabóias proporcionalmente. O azimute da fachada considerado é o real (azimute = -51°).

Devido ao facto de não se poderem remover módulos uniformemente à simulação devido à configuração dos inversores, a simulação consiste então, em remover a produção de um dos inversores (inversor 2) que será mais ou menos equivalente a 100m². Ao retirar este de funcionamento a resultante será a produção dos outros dois (inversor 1 e 3).

De modo a adicionar 100m² às clarabóias, foi considerado que a produção é igual à inicial acrescida da produção de um inversor semelhante aos utilizados para a fachada.

A superfície fotovoltaica coberta para esta simulação fica assim: 511m² na fachada e 133m² nas clarabóias.

Considerou-se o aumento de área dos elementos que dão maior produção por área, as clarabóias, diminuindo a área das fachadas que produzem menos por unidade de área do que as clarabóias. Neste caso obter-se-ia o resultado apresentado nas Tabela 23 e na Tabela 24.

Tabela 23. Produção mensal da fachada para azimuth = 51°.

Fachada	Glob_Hor (kWh/m ²)	Temp_Amb (°C)	Glob_Inc (kWh/m ²)	Eout_Inv (kWh)
Janeiro	66	5,5	76,3	566,3
Fevereiro	77	7	72,9	512,1
Março	141	9,3	110,9	944,2
Abril	153	11,6	99,1	746,9
Maior	204	15,5	114,5	903,1
Junho	223	20,4	115	895,6
Julho	230	24,3	123	979
Agosto	201	23,8	121,7	976,8
Setembro	150	20,3	115	840,3
Outubro	105	14,5	99,3	708,3
Novembro	64	8,9	70,6	473,6
Dezembro	49	5,9	52,3	352,9
Anual	1663	13,92	1170,6	8899,1

Tabela 24. Produção mensal das clarabóias.

Clarabóias	Glob_Hor (kWh/m ²)	Temp_Amb (°C)	Glob_Inc (kWh/m ²)	Eout_Inv (kWh)
Janeiro	66	5,5	94,9	606,7
Fevereiro	77	7	98,5	621,5
Março	141	9,3	160,7	1010,2
Abril	153	11,6	158,1	980,5
Maior	204	15,5	197,6	1184,5
Junho	223	20,4	208,8	1205
Julho	230	24,3	216,7	1222,2
Agosto	201	23,8	202	1144,8
Setembro	150	20,3	167,3	984,4
Outubro	105	14,5	126,2	779
Novembro	64	8,9	83,3	523,1
Dezembro	49	5,9	68	424,8
Anual	1663	13,92	1782,1	10686,7

Neste caso, chega-se à conclusão apresentada na Tabela 25 para o valor anual de venda da energia à rede.

Na Tabela 26 apresentam-se os fluxos líquidos gerados pelo projecto para um período de 40 anos.

Tabela 25. Valor anual de venda de energia à rede.

	Área (m ²)	Produção (kWh)	Valor energia	Valor
Fachada	511,00	8899,10	0,34 €	3 025,69 €
Clarabóias	133,00	10687,70	0,34 €	3 633,82 €
Total	644,00	19586,80	0,34 €	6 659,51 €

Tabela 26. Fluxos líquidos gerados pelo projecto.

Anos	Cash flow	Factor actualização (2,5%)	Cash flow actualizado	Cash flow acumulado
0	- 1 000 055,63 €	1,00	- 1 000 055,63 €	- 1 000 055,63 €
1	6 659,51 €	0,98	6 497,08 €	- 993 558,55 €
2	6 659,51 €	0,95	6 338,62 €	- 987 219,93 €
3	6 659,51 €	0,93	6 184,02 €	- 981 035,91 €
4	6 659,51 €	0,91	6 033,19 €	- 975 002,72 €
5	6 659,51 €	0,88	5 886,04 €	- 969 116,68 €
6	6 659,51 €	0,86	5 742,48 €	- 963 374,20 €
7	6 659,51 €	0,84	5 602,42 €	- 957 771,79 €
8	6 659,51 €	0,82	5 465,77 €	- 952 306,02 €
9	6 659,51 €	0,80	5 332,46 €	- 946 973,56 €
10	6 659,51 €	0,78	5 202,40 €	- 941 771,16 €
11	6 659,51 €	0,76	5 075,51 €	- 936 695,64 €
12	6 659,51 €	0,74	4 951,72 €	- 931 743,92 €
13	6 659,51 €	0,73	4 830,95 €	- 926 912,98 €
14	6 659,51 €	0,71	4 713,12 €	- 922 199,86 €
15	6 659,51 €	0,69	4 598,16 €	- 917 601,70 €
16	6 659,51 €	0,67	4 486,01 €	- 913 115,68 €
17	6 659,51 €	0,66	4 376,60 €	- 908 739,08 €
18	6 659,51 €	0,64	4 269,85 €	- 904 469,23 €
19	6 659,51 €	0,63	4 165,71 €	- 900 303,52 €
20	6 659,51 €	0,61	4 064,11 €	- 896 239,42 €
21	6 659,51 €	0,60	3 964,98 €	- 892 274,43 €
22	6 659,51 €	0,58	3 868,28 €	- 888 406,16 €
23	6 659,51 €	0,57	3 773,93 €	- 884 632,23 €
24	6 659,51 €	0,55	3 681,88 €	- 880 950,35 €
25	6 659,51 €	0,54	3 592,08 €	- 877 358,27 €
26	6 659,51 €	0,53	3 504,47 €	- 873 853,81 €

Anos	Cash flow	Factor actualização (2,5%)	Cash flow actualizado	Cash flow acumulado
27	6 659,51 €	0,51	3 418,99 €	- 870 434,82 €
28	6 659,51 €	0,50	3 335,60 €	- 867 099,21 €
29	6 659,51 €	0,49	3 254,25 €	- 863 844,97 €
30	6 659,51 €	0,48	3 174,87 €	- 860 670,10 €
31	6 659,51 €	0,47	3 097,44 €	- 857 572,66 €
32	6 659,51 €	0,45	3 021,89 €	- 854 550,77 €
33	6 659,51 €	0,44	2 948,19 €	- 851 602,58 €
34	6 659,51 €	0,43	2 876,28 €	- 848 726,30 €
35	6 659,51 €	0,42	2 806,13 €	- 845 920,18 €
36	6 659,51 €	0,41	2 737,68 €	- 843 182,49 €
37	6 659,51 €	0,40	2 670,91 €	- 840 511,58 €
38	6 659,51 €	0,39	2 605,77 €	- 837 905,82 €
39	6 659,51 €	0,38	2 542,21 €	- 835 363,60 €
40	6 659,51 €	0,37	2 480,21 €	- 832 883,40 €

Na Tabela 27 apresentam-se os valores de cash flow gerados para o período de 40 anos e o PRIA na da primeira proposta.

Tabela 27. Período de recuperação do investimento actualizado.

Cash flow gerado (40 anos)	167 172,23 €
PRIA (anos)	239,29

Neste caso o que se verifica é que há um aumento considerável da produção da energia, e consequentemente uma redução no período de *payback*, apesar de a área total de elementos fotovoltaicos se ter mantido.

4.1.3.13. Estudo dos resultados

Os resultados da produção de energia e do período de retorno do investimento nas diversas situações são díspares. Cada situação apresenta características que fazem com que os valores sejam mais altos ou mais baixos, tendo em conta um diverso número de factores (orientação, área, etc.).

Na Tabela 28 apresentam-se os valores anuais de produção e venda de energia à rede para as diversas situações, onde se pode observar as diferenças de valores que existe.

Tabela 28. Valor anual de produção e venda de energia à rede para as diversas situações.

	Produção (kWh)	Valor energia	Valor
Situação real de obra	14815,60	0,34 €	5 037,30 €
1ª Proposta	15433,70	0,34 €	5 247,46 €
2ª Proposta	19586,80	0,34 €	6 659,51 €

O valor de produção de energia é muito baixo na situação real da obra, o que pode ser justificado pela orientação da fachada, que não está na sua orientação óptima (fachada está em azimute = -51°), o que faz com que só capte o sol durante uma parte da manhã, pelo sombreamento provocado pelos edifícios circundantes e pela própria condicionante de ser uma fachada e estar na posição vertical (a inclinação óptima para captar o sol são 30° com a horizontal) e pela área das clarabóias ser muito reduzida.

Mesmo no caso de se alterar a orientação da fachada para a sua situação óptima (azimute = 0°), e mantendo as clarabóias inalteráveis, permanecem duas grandes condicionantes, o sombreamento provocado pelos edifícios circundantes e posição vertical, o que explica o baixo valor de produção desta situação.

No caso da alteração das áreas da fachada e das clarabóias, consegue-se um valor de produção baixo para o que se pretende de uma instalação fotovoltaica.

Para melhor compreender a relação entre as diversas situações, apresenta-se na Tabela 29 um estudo comparativo com as razões produção/área, que permite averiguar qual a produção para um metro quadrado de área de fachada e clarabóia. Para se compreender o rendimento que as clarabóias têm em relação à fachada, também se apresenta uma razão de produção em percentagem entre a clarabóia e fachada por metro quadrado.

Tabela 29. Estudo comparativo de produções de energia nas diversas situações.

		Relação produção/área (kWh/m ²)	Relação produção clarabóia/fachada (%)
Situação real de obra	Fachada	21,25	261,04
	Clarabóia	55,48	
1ª Proposta	Fachada	22,26	249,18
	Clarabóia	55,48	
2ª Proposta	Fachada	17,42	461,43
	Clarabóia	80,36	

Nas três situações analisadas, percebe-se que a produção energética das clarabóias é superior à da fachada. As clarabóias não estão sujeitas a nenhuma das condicionantes a que está sujeita

fachada, pelo que a sua produção é muito superior por unidade de área. As clarabóias produzem para a mesma área que a fachada mais 261,04%, no caso da situação real de obra. Na 2ª proposta a percentagem de produção das clarabóias é inferior ao caso anterior, pois consegue-se aumentar a produção da fachada orientando-a na sua posição óptima. Onde realmente é visível que as clarabóias são a melhor solução para a captação de energia solar, é na 2ª proposta, pois aumentando a área das clarabóias consegue-se um melhor tempo de captação e aproveitamento da energia solar em relação à fachada. Aumentando a área das clarabóias a relação da produção de energia entre as clarabóias e a fachada iria aumentar.

Na Tabela 30 apresenta-se o PRIA para as diversas situações analisadas e na Tabela 31 pode-se observar a redução do PRIA comparando as diversas situações.

Tabela 30. PRIA nas diversas situações.

	PRIA (anos)
(R) - Situação real de obra	316,35
(1) - 1ª Proposta	303,68
(2) - 2ª Proposta	239,29

Tabela 31. Estudo comparativo de PRIA nas diversas situações.

	Anos	%
Diferença (R - 1)	12,67	4,00%
Diferença (1 - 2)	64,39	21,20%
Diferença (R - 3)	77,06	24,36%

A redução em anos que se obtém no PRIA é coerente com os resultados obtidos, pois é provável que orientado a fachada na sua melhor posição (R para 1) se aumente a produção da fachada e consequentemente se diminua o tempo de PRIA. Na comparação da fachada orientada na sua melhor posição em relação à alteração de áreas (1 para 2) verifica-se uma redução de PRIA maior do que se havia verificado para a situação anterior. No entanto, e coerentemente com as análises anteriores, a redução do PRIA da situação real da obra para a situação de alteração de áreas (R para 3), é a maior das três situações analisadas, pois está-se a comparar a situação mais desfavorável em estudo com a mais vantajosa em termos de produção de energia.

Capítulo 5

5. Conclusão

5.1. Breve descrição do trabalho

5.2. Avaliação dos resultados

5.2.1. Energias alternativas

5.2.2. Sistemas de fachada com incorporação de tecnologia fotovoltaica

5.2.3. Normalização e legislação

5.2.4. Condicionantes e constrangimentos da obra de Alcobendas

5.2.5. Dimensionamento da instalação

5.2.6. Estudo de produção energética

5.3. Comentários finais

5. CONCLUSÃO

5.1. Breve descrição do trabalho

Neste trabalho identificou-se, numa primeira abordagem, os principais materiais constituintes de uma fachada fotovoltaica: o alumínio, o vidro, as células, os módulos fotovoltaicos e também os sistemas fotovoltaicos utilizados nos edifícios.

Apresenta-se e identifica-se a legislação aplicável a fachadas de alumínio e vidro, a instalações fotovoltaicas e ainda a produção de energia e comportamento térmico de edifícios. Porém, o principal objectivo da dissertação era avaliar, ao nível do comportamento energético uma solução de fachada com tecnologia fotovoltaica e compreender “in situ” a sua instalação, todos os constrangimentos e dificuldades, acompanhando directamente uma obra que constitui o caso de estudo, o Centro Cultural de Alcobendas.

Foi apresentada a tipologia da fachada - VEC respirante fotovoltaica - que é composta por uma estrutura de alumínio lacado com caixilharia dupla e exposto todo o processo do projecto de execução da fachada, desde a estrutura de alumínio ao vidro, e ainda a exposição de situações imprevistas e condicionantes que surgiram no decorrer do projecto.

No âmbito do projecto de instalação fotovoltaica, foram identificados todos os seus componentes: a estrutura de suporte; o gerador fotovoltaico constituído pelos módulos fotovoltaicos; os inversores; e sistema de monitorização. Foram apresentadas todas as conexões e ligações, a conexão da instalação fotovoltaica à rede eléctrica, as protecções eléctricas, a contagem de energia, a ligação à terra e as cablagens eléctricas.

Foram ainda apresentados todos os cálculos envolvidos no projecto, desde os cálculos da secção dos cabos até ao estudo da produção energética.

5.2. Avaliação dos resultados

Os principais resultados das abordagens acima mencionadas foram sendo apresentados em cada capítulo e são resumidos nesta secção. As conclusões são apresentadas em secções separadas para cada tema abordado nesta dissertação: (i) as energias alternativas; (ii) os sistemas de fachada com incorporação de tecnologia fotovoltaica; (iii) a normalização e legislação; (iv) as condicionantes e constrangimentos da obra em estudo; (v) o dimensionamento; (vi) o estudo de produção energética.

5.2.1. Energias alternativas

Neste campo muito se tem evoluído nos últimos anos em diversas frentes, tanto no aproveitamento da energia eólica como da energia solar que se abordou nesta dissertação.

As tecnologias fotovoltaicas de conversão têm passado por diversos estados de desenvolvimento, actualmente já se está na terceira geração. No entanto, a tecnologia que predomina continua a ser a primeira geração que corresponde a cerca de 90% do mercado e que se caracteriza pela utilização de células de silício cristalino. A segunda geração caracteriza-se pela aplicação de tecnologia de películas finas sobre substratos rígidos (vidro ou cerâmica) e corresponde a cerca de 10% do mercado. A terceira geração caracteriza-se pela utilização de nanotecnologias para deposição de películas finas sobre substratos flexíveis. Esta tecnologia permite um melhor aproveitamento de todo o espectro solar.

A tecnologia fotovoltaica pode-se distinguir a nível da aplicação em duas possibilidades, aplicações *on-grid* (sistemas ligados à rede eléctrica) e *off-grid* (sistemas autónomos). As aplicações mais importantes são as ligadas à rede eléctrica, pois distribuem a energia excedente, que não é consumida pelo produtor, bem como toda a electricidade produzida para a rede, como é o caso em estudo. É comum encontrar este tipo de aplicação em coberturas de edifícios residenciais e de serviços, bem como na indústria, com grande área coberta, potenciando uma grande capacidade de produção. Os sistemas autónomos são muito menos relevantes a nível da capacidade de produção, e actualmente estão a contribuir para a electrificação rural em muitos países.

A viabilidade da instalação de tecnologia fotovoltaica é superior em países com grande disponibilidade de energia solar no seu território. Portugal é um dos países que está nestas condições, sendo um dos países da Europa com maior potencial de aproveitamento de energia solar. Num cenário optimizado, seria possível gerar em Portugal um terço do consumo de electricidade por via solar.

Os países actualmente fornecem incentivos quer à produção quer ao investimento como uma forma de atingir as metas estabelecidas para o cumprimento da percentagem de produção de energia proveniente de fontes renováveis.

A energia fotovoltaica está a proporcionar o aumento da capacidade de fornecimento de energia via solar, permitindo que no futuro seja uma opção viável com soluções de baixo custo e manutenção reduzida.

5.2.2. Sistemas de fachada com incorporação de tecnologia fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica aplicada a fachadas será muito importante num futuro próximo, pois permite a conjugação de diversos factores. Alia a componente estética dos edifícios com a sua sustentabilidade energética, com respeito pelo meio ambiente e permite a aplicação da energia solar fotovoltaica em meio urbano, sem descurar a sua integração arquitectónica.

Os edifícios com fachadas com este tipo de tecnologia apresentam bom aproveitamento da luminosidade natural.

É nos edifícios públicos que este tipo de tecnologia tem tido maior aplicação. O objectivo de aplicar a tecnologia fotovoltaica nestes edifícios é, para além de realizar edifícios com alternativa estética, contribuir para a propagação social das energias renováveis, dando a conhecer esta tecnologia à população e assim apelar à sua consciência ambiental e incentivar a sua utilização mais generalizada.

A regulamentação também aponta para uma maior atenção com este tipo de tecnologia, pois ao nível da regulamentação térmica, foi dada grande destaque aos sistemas baseados em energias renováveis de modo a melhorar a qualidade e conforto dos edifícios aliado a uma fonte limpa de produção de energia.

A nível económico também se está a dar atenção a esta tecnologia, pois apresenta a vantagem de não contribuir para um aumento da ocupação do território, que é uma importante condicionante nos centros urbanos.

No Capítulo 2 apresentou-se um estudo dos principais componentes de uma fachada com tecnologia fotovoltaica, o alumínio, o vidro e as células fotovoltaicas. Relativamente ao alumínio foram apresentados os perfis de alumínio, que são os elementos base de uma fachada, os processos de protecção superficial dos perfis, o processo de anodização e lacagem. Foi apresentado o vidro utilizado correntemente em edifícios e o vidro fotovoltaico em particular. No caso das células foram apresentados os dois principais tipos de células utilizadas em módulos fotovoltaicos, as células de silício monocristalino e as células de silício policristalino.

Ainda no Capítulo 2 foram apresentados os diversos componentes constituintes de um módulo fotovoltaico e os sistemas fotovoltaicos para edifícios actualmente existentes para a integração no projecto arquitectónico. Foi ainda descrito o conceito BIPV que diz respeito a uma nova geração de produtos que produzem energia fotovoltaica e que podem ser introduzidos na construção de edifícios.

O caso de estudo apresentado no Capítulo 4 é um edifício público, neste caso um centro cultural, que vem reforçar todos os argumentos apresentados anteriormente. O edifício apresenta todas as características enumeradas, um forte impacto visual, está num centro populacional, é um edifício que terá muitos visitantes e que funcionará como divulgador da tecnologia fotovoltaica.

No caso de estudo foi apresentado o sistema da fachada, onde a energia fotovoltaica é aplicada sobre os módulos de vidro. O vidro fotovoltaico do tipo vidro-célula-vidro está instalado na caixilharia exterior e na caixilharia interior está instalada uma persiana para protecção solar dentro do vidro duplo.

Este caso de estudo identifica também uma das desvantagens deste sistema, que é o facto de ser necessária caixilharia dupla. O vidro fotovoltaico é um vidro extra claro, extremamente transparente com a finalidade de permitir a transmissão de luz, mas com reduzidas características térmicas de protecção solar, pelo que é necessário colocar mais uma caixilharia de vidro para assegurar estas condições.

5.2.3. Normalização e legislação

A normalização e legislação, que se expôs nesta dissertação no Capítulo 3, ao nível das fachadas de alumínio e vidro, de instalação fotovoltaica, de produção de energia e desempenho térmico de edifícios, veio demonstrar que há muita atenção dada a esta área. As diversas normas europeias existentes referentes aos sistemas de alumínio e vidro existem há muito tempo, em contraste com as normas referentes à instalação fotovoltaica que são recentes.

Ao nível do alumínio e vidro há um alargado conjunto de normas, desde acções exigências e terminologia, passando pelo trabalho em edifícios, até a fachadas cortina, exigências de desempenho da execução, entre muitos outros.

Ao nível da instalação fotovoltaica, foi dada atenção à normalização referente a cabos eléctricos, redes, instalações, módulos fotovoltaicos, sistemas de passagem de cabos, graus de protecção, instalações eléctricas em edifícios, e reacções a testes de incêndio.

No que se refere à produção de energia, a legislação actualmente existente visa garantir tarifários bonificados para a venda de energia à rede e estabelece os compromissos de energia eléctrica produzida através de fontes de energia renováveis.

Ao nível do desempenho energético e comportamento térmico de edifícios, no que se refere a energias renováveis, a legislação foca principalmente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética.

5.2.4. Condicionantes e constrangimentos da obra de Alcobendas

Durante a execução de uma obra surgem várias situações imprevistas e a obra em estudo não é excepção. No Capítulo 4 foi efectuado um estudo às principais condicionantes e constrangimentos ocorridos durante o processo de desenvolvimento e execução da obra. As principais condicionantes ocorridas estão relacionados com a passagem de cabos, com os vidros com estore, com a ocorrência de condensações e com a protecção de cablagem contra risco de incêndios.

No que se refere à passagem de cabos, foram efectuadas duas abordagens às possibilidades colocadas para a resolução do problema da passagem de cabos pela fachada. A principal condicionante estava relacionada com a obrigatoriedade de os cabos ficarem ocultos na fachada, pois para além da questão estética, também era necessário proteger os cabos das agressões climatéricas exteriores. A solução encontrada passou pela colocação de mais um perfil no sistema de fachada, uma cantoneira de alumínio clipada aos perfis existentes na fachada, que veio permitir uma fácil colocação e uma fácil remoção em caso de necessidade de acções de manutenção sem danificar o sistema.

Em relação aos vidros com estore, apareceram inúmeras dificuldades. Os vidros não eram todos rectangulares, existindo vidros com formas muito irregulares, nomeadamente vidros com lados curvos. Para este tipo de dificuldade, foram encontradas soluções distintas, em alguns vidros foi possível colocar um estore total, noutros só foi possível colocar um estore parcial, não cobrindo toda a área de vidro, ficando a parte não coberta pelo estore revestida por uma película autocolante a imitar o estore. Noutros casos foi mesmo impossível colocar estores, ficando o vidro revestido totalmente por uma película autocolante a imitar o próprio estore. Houve ainda mais uma situação de um vidro rectangular com uma medida demasiado pequena para se poder instalar um estore, nesta situação o vidro foi substituído por um painel sandwich com a cor inicialmente prevista para o estore.

Ainda relativamente aos vidros com estore, foram explicadas duas situações que ocorreram com alguma frequência ao longo da obra. Alguns estores chegaram à obra com os fios partidos e algumas lâminas dos estores colaram umas às outras já com o vidro montado em obra.

Uma das situações que surgiu em obra e que mais preocupação causou foi o aparecimento de condensações nos vidros. Este fenómeno era impensável para este sistema de fachada, pois todo o sistema foi estudado e as características térmicas da fachada foram calculadas para que nunca pudesse ocorrer esta situação. Foi avaliada a situação, efectuando uma simulação em fábrica e foram apresentadas as conclusões. Um dos factores mais relevantes foi o facto de ter havido chuva e ventos fortes dois dias antes do aparecimento das condensações. A explicação encontrada para a ocorrência deste fenómeno foi que a água poderia ter entrado durante o armazenamento em obra do quadro, pois este estava colocado no cavalete com os filtros expostos à entrada de ar e água no dia em que ocorreram os ventos e chuvadas fortes, o que poderá ter originado a entrada de água para a câmara-de-ar através dos filtros onde poderá ter ficado retida. Passados dois dias, com a temperatura ambiente a rondar os 30°C, produziu-se vapor de água o que originou as condensações no interior da câmara-de-ar do quadro.

Ainda referente às condicionantes, um dos requisitos da obra foi todos os cabos e equipamentos eléctricos neste projecto serem livres de halogéneos, ou seja, materiais que em caso de incêndio não libertassem gases nocivos. Houve necessidade de procurar no mercado cabos com estas características, encontrando-se solução para todas as situações.

Os imprevistos e as dificuldades são situações sempre indesejáveis, no entanto são estas situações que obrigam a pesquisar e a conhecer melhor as soluções aplicadas, para depois encontrar a solução.

5.2.5. Dimensionamento da instalação

Foi apresentado no Capítulo 4 um estudo do dimensionamento efectuado ao gerador fotovoltaico. Foram apresentados os cálculos que deram origem à secção dos cabos, que foram distintos para os cabos de corrente contínua e os cabos de corrente alternada.

Foi apresentado o estudo do dimensionamento da secção dos cabos, os critérios condicionantes para a selecção dos condutores, os critérios para o dimensionamento das secções, e ainda o critério térmico e critério de queda de tensão.

5.2.6. Estudo de produção energética

O estudo final da obra e que evidenciou as principais conclusões acerca dos valores de produção de energia do projecto foi efectuado no Capítulo 4.

O valor de produção de energia é muito pequeno para o caso real da obra, o que pode ser justificado pela orientação da fachada que não está na sua orientação óptima (fachada está em azimute = -51°), o que faz com que só capte o sol durante uma parte da manhã. Outra razão é sombreamento provocado pelos edifícios circundantes e pelo próprio ângulo de incidência sobre uma superfície vertical (a inclinação óptima para captar o sol são 30° com a horizontal). As clarabóias por seu lado não estão sujeitas a nenhuma das anteriores condicionantes descritas para a fachada, pelo que a sua produção é muito superior por unidade de área. As clarabóias produzem para a mesma área que a fachada, cerca de mais 261%. A área das clarabóias (33m^2) representa 5,12 % da área total da instalação fotovoltaica (a área da fachada é de 611m^2) e no entanto a produção das clarabóias representa 12,36% da produção total de energia.

A fachada produz muito pouco e mesmo quando orientada de forma otimizada (azimute = 0°) continua a produzir pouco, o que pode ser explicado pelo sombreamento provocado pelos edifícios circundantes, e pelo facto de a inclinação dos módulos fotovoltaicos se ter mantido a 90° (posição vertical). Neste caso, o valor de produção de energia da fachada aumentou e o das clarabóias manteve-se o que faz com que as clarabóias produzam para a mesma área que a fachada, cerca de mais 249%, valor que diminuiu em relação ao caso original. Mesmo assim é muito grande a diferença de produção de energia entre a fachada e as clarabóias.

O que acrescentaria mais-valia económica ao projecto e que realmente contribui para um considerável aumento na produção de energia são as clarabóias uma vez que estão na posição ideal (30° com a horizontal), em detrimento da área da fachada, uma vez que estão orientadas para o sol durante todo o dia, enquanto que a fachada só está em parte do dia. Actualmente as clarabóias também são elementos em que se pode configurar a sua orientação e posição mais favoráveis, o que se pode facilmente depreender da avaliação dos resultados obtidos. Constatou-se que com a diminuição da área da fachada em 100m^2 e o aumento proporcional da área das clarabóias do mesmo valor, as clarabóias passaram a produzir para a mesma área que a fachada, cerca de mais 461%.

O que se depreende de forma global da análise de todos os resultados é que ainda não é suficiente avançada a tecnologia das células fotovoltaicas para aplicação em fachadas, pois como há pouco aproveitamento de energia devido a todas as condicionantes inerentes a uma fachada (orientação, inclinação e efeito de sombreamento de edifícios circundantes) o potencial de captação de energia é muito pequeno. Só se conseguiria aumentar a captação de energia com células que aproveitassem mais a energia do sol (3ª geração). No caso das

clarabóias, a tecnologia é apropriada pois consegue-se que as células captem a energia solar durante muitas horas do dia e com a sua orientação e inclinação óptima em relação ao sol.

5.3. Comentários finais

Pode-se deduzir nesta dissertação que a tecnologia fotovoltaica aplicada a fachadas ainda tem muito potencial de aplicação.

No caso de estudo deste trabalho, pode-se deduzir que o investimento efectuado na fachada com tecnologia fotovoltaica não foi feito com o intuito de tornar o edifício auto-sustentável energeticamente, nem de recuperar o investimento efectuado com a venda da energia produzida pelo edifício à rede. A maior intenção do investidor terá sido uma promoção do uso desta energia junto da população, trazendo para junto das pessoas a tecnologia fotovoltaica e o incentivo ao investimento neste tipo de tecnologia.

Referências bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Manual de fachadas ligeiras – Introdução tecnológica*. Technal, 2º trimestre de 2003.
- [2] Saint-Gobain Glass; <http://pt.saint-gobain-glass.com/>.
- [3] Brito, Gonçalves; Gordo, José Manuel (2004-2005). *Tecnologia Naval; Parte – III; Materiais metálicos*.
- [4] Norma Europeia EN 1706 de Julho de 1998 - *Alumínio e Ligas de alumínio; Fundição; Composição Química e Propriedades Mecânicas*.
- [5] Alulider; <http://www.alulider.com.br/>.
- [6] Martins, Laura. *Anodização e coloração de peças de alumínio*. Apontamentos sobre anodização: Q.A.E., FEUP//DEEC.
- [7] Muro Cortina; <http://www.fachadas-ventiladas.eu/>.
- [8] Subipuertas; <http://www.subipuertas.com/>.
- [9] Gasfomento; <http://www.gasfomento.pt/energiasrenovaveis/>.
- [10] *Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*. Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico, Janeiro de 2004.
- [11] Norma Europeia EN 61215 de Maio de 2005 - *Módulos Fotovoltaicos (PV) de silício cristalino para uso terrestre. Qualificação da concepção e homologação*.
- [12] Sunergetic; <http://www.sunergetic.pt/>.
- [13] Norma Europeia EN 13022-1 de 30 de Junho de 2006 - *Vidro em edifícios. Vidro estrutural selante. Parte 1: Acções, exigências e terminologia*.

- [14] Norma Europeia EN 13119 de 31 de Maio de 2007 - *Fachadas Cortina. Terminologia.*
- [15] Norma NF A91-450 - *Anodização de alumínio e de suas ligas. Especificações gerais de revestimentos de óxido anódicos em alumínio.*
- [16] Norma NF EN 755-2 de Julho de 2008 - *Alumínio e ligas de alumínio. Barras, tubos e perfis extrudidos. Parte 2: características mecânicas.*
- [17] Norma NF EN 14351-1 de Junho de 2006 - *Janelas e portas - Norma de produto, características de desempenho. Parte 1: janelas e portas exteriores para peões sem características de resistência ao fogo e/ou desempenho a acção de fumos.*
- [18] Norma NF P20-302 de Maio de 2008 - *Janelas: Características.*
- [19] Norma NF P20-501 de Maio de 2008 - *Métodos de ensaio de janelas.*
- [20] Norma NF P24-301 de Agosto de 1980 - *Especificações técnicas de janelas, portas-janelas e aros fixos.*
- [21] Norma NF P78-201 - *Trabalhos em edifícios. Vidros espelhados e trabalhos em envidraçados.*
- [22] Norma NF P85-301 - *Vedações pré-formadas usadas em fachadas ligeiras. Materiais constituídos de borracha.*
- [23] Norma PR EN 13120 - *Persianas interiores - Exigências de desempenho.*
- [24] Norma SNJF-VEC - *Aprovação para selantes à base de silicone em colagem estrutural e vidro.*
- [25] Norma XP P24-400 - *Serralharias. Alumínios com corte térmico em PA e PU. Especificação.*
- [26] Norma XP P28-004 - *Fachadas Cortina. Exigências do desempenho da execução.*

- [27] Parecer CSTB 2837 de Setembro de 1995 - *Métodos de ensaio da durabilidade “ENDURO” de janelas de abertura à italiana. Janelas e fachadas sujeitas a um parecer técnico ou de um atestado de tradicionalismo.*
- [28] Parecer CSTB 3130 - *Vidros exteriores colados sujeitos a um parecer técnico, condições gerais de concepção, fabrico e execução.*
- [29] Parecer CSTB 3242 - *Condições climáticas a considerar no cálculo das temperaturas máximas e mínimas de envidraçados.*
- [30] RT2000 - *Regulamentação térmica das novas construções.* Site de Regulamentação francesa: <http://www.rt2000.net/>.
- [31] Instrução técnica ITC-BT-07 - *Redes subterrâneas para distribuição em baixa tensão.*
- [32] Instrução técnica ITC-BT-16 - *Instalações de ligação. Contadores: Localização e sistemas de instalação.*
- [33] Instrução técnica ITC-BT-19 - *Instalações interiores ou receptoras. Prescrições gerais.*
- [34] Instrução técnica ITC-BT-40 - *Instalações geradoras de baixa tensão.*
- [35] Norma CEI 64-8 - *Instalações eléctricas de utilização de energia a uma tensão nominal não superior a 1000 Volt em corrente alternada e a 1500 Volts em corrente contínua*
- [36] Norma Europeia EN 61537 - *Sistemas de bandeja de cabos e sistemas de escada para canalizações eléctricas.*
- [37] Norma UNE 20324 - *Graus de protecção proporcionados pelas envolventes.*
- [38] Norma UNE 20460-5-523 de Novembro de 2004 - *Instalações eléctricas em edifícios. Parte 5: Selecção e instalação de materiais eléctricos. Secção 523: Intensidades admissíveis em sistemas de condução de cabos.*

- [39] Norma UNE 21123-1: 2004 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 1: Cabos com isolamento e cobertura de policloruro de vinilo.*
- [40] Norma UNE 21123-2: 2004 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 2: Cabos com isolamento de polietileno reticulado e cobertura de policloruro de vinilo.*
- [41] Norma UNE 21123-3: 2005 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 3: Cabos com isolamento de etileno-propileno e cobertura de policloruro de vinilo.*
- [42] Norma UNE 21123-4: 2004 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 4: Cabos com isolamento de polietileno reticulado e cobertura de poliolefina.*
- [43] Norma UNE 21123-5: 2005 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV. Parte 5: Cabos com isolamento de etileno propileno e cobertura de poliolefina.*
- [44] Norma UNE 23727 - *Reacção a testes de incêndio de materiais de construção. Classificação de materiais de construção.*
- [45] Norma UNE-EN 60439 - *Conjuntos de comutadores de baixa tensão.*
- [46] Decreto-Lei nº 33-A/2005 de 16 de Fevereiro de 2005.
- [47] Decreto-Lei nº 68/2002 de 25 de Março de 2002.
- [48] Decreto-lei nº 168/99 de 18 de Maio de 1999.
- [49] Decreto-Lei nº 312/2001 de 10 de Dezembro de 2001.
- [50] Decreto-Lei nº 313/95 de 24 de Novembro de 1995.

- [51] Decreto-Lei nº 339 - C/2001 de 29 de Dezembro de 2001.
- [52] Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro de 2001.
- [53] Portaria n.º 383/2002 de 10 de Abril de 2002.
- [54] Portaria nº 764/2002 de 1 Julho de 2002.
- [55] Programa E4 de Setembro de 2001 - *Eficiência energética e energias endógenas*.
- [56] Protocolo de Quioto de 16 de Fevereiro de 2005.
- [57] Real Decreto 436/2004 de 12 de Março de 2004 - *Metodologia para a actualização e sistematização do regime jurídico e económico da actividade de produção de energia eléctrica em regime especial*.
- [58] Real Decreto 1663/2000 de 29 de Setembro de 2000 - *Conexão de instalações fotovoltaicas à rede de baixa tensão*.
- [59] Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003 de 28 de Abril de 2003
- [60] Decreto-lei 78/2006 de 4 de Abril de 2006.
- [61] Decreto-lei 79/2006 de 4 de Abril de 2006
- [62] Decreto-lei 80/2006 de 4 de Abril de 2006
- [63] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002.
- [64] PER - *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. Ministerio de industria, turismo y comercio; IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Agosto de 2005.

[65] Directiva 20001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro de 2001.

[66] Falcão, António F. O. Recursos Energéticos Renováveis. Energia Solar. Movimento e posicionamento relativos Terra-Sol, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico, 2008.

[67] Avis technique 2/02-906 “Respirant Reflet Nuage”, Architectural Systems – CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Paris, Abril 2005.

[68] Autocad® (2010) - Autodesk®, Inc. 111 McInnis Parkway San Rafael, CA 94903 USA

[69] Solidworks (2009) - DS SolidWorks, Dassault Systèmes SolidWorks Corp. 300 Baker Avenue Concord, MA 01742 1-800-693-9000 USA.

[70] *Los Cables Libres de halógenos. Cables de alta seguridad. El salto tecnológico al nuevo milenio.* Asociación Española de fabricantes de conductores eléctricos aislados y de fibra óptica. Barcelona. <http://www.facel.es/>.

[71] Real Decreto 1578/2008 de 26 de Setembro de 2008.

[72] Wikipédia; <http://pt.wikipedia.org/>.

[73] SMA Solar Technology AG; <http://www.sma-iberica.com/>.

[74] Oliveira, Rômulo Silva. (2002). *RS-485 ou EIA-485*. Departamento de Automação e Sistemas. Centro tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

[75] EN 60529 - *Definição das classes de protecção*.

[76] Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. PCT-C Rev., Outubro de 2002. <http://www.idae.es/>.

[77] Norma UNE 21123: 2004 - *Cabos eléctricos de utilização industrial de tensão estipulada 0,6/1kV*.

[78] Zunido, André; Magalhães e Vasco, Germano (2006) *Análise Financeira de Projectos de Software (VAL, TIR e PRI)*; Curso de Engenharia de Sistemas e Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve.

Anexo A
Terminologia e definições

ANEXO A

A1. Terminologia e definições

A1.1. Fachadas de alumínio

A1.2. Vidro

A1.3. Energia primária

A1.4. Instalação

A1.5. Módulos fotovoltaicos

A1. TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES

A1.1. Fachadas de alumínio

Relativamente aos sistemas de fachada com estrutura de alumínio importa conhecer uma série de termos que depois serão utilizados no decorrer do trabalho para se compreender o contexto em que estão inseridos.

Calço

Peça de metal, madeira ou PVC (policloreto de vinilo) colocado em redor da perfilaria do envidraçado ou de qualquer outro enchimento.

Calço de vidro (18)

Elemento em neoprene, madeira ou outro material adequado, colocado na parte inferior de um vidro para a sua colocação num quadro.

Capa de aperto (16)

Peça metálica, em geral de alumínio extrudido, colocada na periferia dos enchimentos (envidraçados ou elementos de enchimento) que permite a transmissão de esforços por meio dos vedantes de estanqueidade.

Capa Exterior (14)

Perfil de revestimento exterior, clipado sobre os montantes ou travessas e que assegura o aspecto arquitectónico, pois é o elemento de alumínio que fica visível na fachada pelo exterior.

Orifício de drenagem

Pequena abertura na parede ou quadro de janela através da qual a água é drenada para o exterior do edifício.

Elementos de estanqueidade (23)

Tampas de estanqueidade dispostas nas uniões.

Envidraçado

Assemblagem de uma ou várias folhas de vidro seladas hermeticamente com ar para assegurar prestações térmicas e acústicas melhoradas.

Fachada com montante e travessa

Sistema de fachada, realizado em obra com elementos distintos e montados inteiramente em obra.

Fachada de painel modular

Sistema formado por elementos vítreos pré-montados com a colocação dos envidraçados em fábrica, que têm a altura de um ou mais pisos.

Flecha

Deformação que sofre uma estrutura, relativa à linha recta que une os apoios, devido às cargas que incidem sobre ela.

Guia eléctrica

Perfil específico contínuo integrante ou saliente com respeito à linha da fachada, integrado ou fixo sobre os montantes e que permite a passagem de um cabo.

Janela projectante

Janela com uma folha que abre para o exterior por rotação em torno de um eixo horizontal situado ao longo da travessa superior.

Junta exterior de estanqueidade (4)

Perfil composto num material elastómero situado entre a parte exterior do enchimento e o quadro que o rodeia.

Junta interior de estanqueidade (10)

Perfil composto num material elastómero colocado entre a parte interior de um enchimento e o quadro que o rodeia.

Junta periférica

Vedante que confere estanqueidade, aplicado entre o bordo da fachada ligeira e a estrutura do edifício.

Juntas

São elementos que preenchem o volume livre entre dois elementos de construção, assegurando a ligação entre esses elementos mas garantindo a livre dilatação entre eles.

Montante (13)

Elemento vertical em aço ou alumínio de estrutura secundária que separa, e no geral suporta, janelas, envidraçados, painéis e portas adjacentes.

Painel de Enchimento

Painel de enchimento ou de revestimento que comporta um ou mais componentes e que se coloca em obra num quadro.

Peça de amarração

Peça metálica fabricada para assegurar a conexão mecânica entre a fachada e a estrutura.

Perfil de rotura de ponte térmica (25)

Composto de baixa condutividade térmica incorporado numa montagem para reduzir os fluxos térmicos entre dois materiais que possuem uma alta condutividade térmica.

Silicones (materiais flexíveis)

São substâncias pastosas ou ligeiramente fluídas, aplicáveis à bomba, que são usadas no preenchimento de juntas e respectiva selagem.

Travessa (26)

Elemento horizontal de estrutura secundária que separa e no geral suporta envidraçados, janelas, painéis ou portas adjacentes.

Taco de ligação (21)

Peça que permite a ligação mecânica de um perfil de travessa e um montante.

Na Figura A1 apresenta-se um esquema com a legenda dos diversos componentes de uma estrutura de suporte em alumínio de uma fachada. A numeração dos elementos corresponde com a numeração que está nos termos técnicos apresentados.

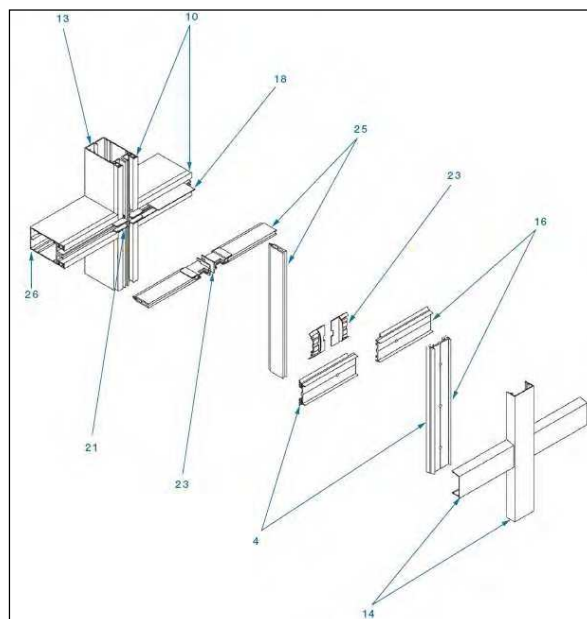


Figura A1. Esquema de uma estrutura de suporte de uma fachada em alumínio.

A1.2. Vidro

Absorção energética (Ae)

Percentagem de energia absorvida pelo vidro, que provoca o seu aquecimento. Esta grandeza permite determinar os riscos de rotura por choque térmico e avaliar a necessidade de temperar o vidro. EN410.

Balanco energético

Balanco das trocas térmicas, (entradas e perdas) através de vidros ou janelas. É originado pela diferença entre as várias entradas e saídas de energia num determinado sistema. Tem em conta: a energia primária introduzida no sistema pelas fontes energéticas, a energia solar que o edifício recebe e os contributos internos. Em termos de perdas abrange a energia perdida por transmissão e por ventilação, ou a energia dissipada. EN ISO 14438.

Barreira de selagem do vidro duplo

Produto, geralmente à base de polisulfuro (M_2S_3), silicone (Si), poliuretano (PUE) ou butilo (Bu) “Hot-melt”, assegurando a integridade mecânica da junta periférica do vidro isolante.

Barreira de estanqueidade do vidro duplo

Produto, geralmente à base de butilo, que assegura a estanqueidade à água ou gases no espaço compreendido entre os vidros numa solução de vidro duplo.

Características energéticas e luminosas

Também designadas características espectrofotométricas. Conjunto de valores de transmissão, de reflexão e de absorção das radiações solares pelas paredes em vidro.

Choque térmico

Fenómeno que ocorre devido à diferença significativa de temperatura, entre duas zonas próximas que, num vidro, pode provocar rotura, que neste caso é normalmente designada rotura por choque térmico. A utilização de vidro temperado ou termo-endurecido minimiza este risco.

Coefficiente U

O coeficiente U é o fluxo de calor que passa através de uma parede com uma superfície de 1 m², separando dois ambientes cujas temperaturas diferem de 1° Kelvin. Mede-se em W/m².°C.

Desidratante

Produto geralmente do tipo “tamis molecular”, incorporado no intercalar do vidro duplo para assegurar a desidratação da câmara-de-ar ou gás que o preenche.

Emissividade (ε)

A emissividade é uma propriedade de superfície. Quando duas superfícies se encontram, uma em frente à outra, e a temperaturas diferentes, trocam calor por radiação, em função da emissividade. A emissividade do vidro corrente é igual a 0,89; a dos vidros com capa de baixa emissividade pode atingir 0,03. A emissividade é usada para calcular o coeficiente U dos vidros duplos.

Factor solar (g)

Fracção da radiação solar incidente que entra num local e transmitida através do vidro (transmissão + re-emissão energética do vidro para o local). É uma das características essenciais dos vidros com capa de controlo solar. EN410.

Fotocatálise

Propriedade de alguns materiais capazes de degradar compostos orgânicos na sua superfície sob acção de raios UV (ultravioleta).

Heat-Soak Test (HST)

Designação inglesa. Tratamento térmico complementar da têmpera, destinado a eliminar os vidros que apresentam risco de rotura espontânea e aleatória do vidro temperado termicamente.

Low-E

Designação inglesa para vidros com capa de baixa emissividade.

PVB (Polivinil Butiral)

Filme plástico que assegura a estabilidade e a montagem mecânica entre os vidros que compõem um vidro laminado.

PVB acústico (Polivinil Butiral)

Filme plástico, especialmente concebido para reforçar o isolamento acústico, que assegura a integridade mecânica do conjunto de componentes em vidro nos vidros laminados acústicos.

Reflexão energética (Re)

Percentagem da energia, com origem no conjunto das radiações solares, reflectida pelo vidro. EN410.

Reflexão luminosa (Rl)

Percentagem da luz visível, com origem na radiação solar, reflectida pelo vidro. EN410.

Serigrafia

Técnica de deposição, parcial ou completa, de esmaltes sobre o vidro, através de um ecrã têxtil.

Transmissão Energética (Te)

Percentagem do fluxo de energia solar transmitida directamente através do vidro. EN410.

Transmissão luminosa (Tl)

Percentagem de fluxo luminoso transmitido directamente através do vidro. EN410.

Transmissão UV

Porcentagem de fluxo de raios UV (ultravioleta) transmitidos directamente através do vidro. EN410.

Vidro Exterior Colado (VEC)

Também designado Structural Glazing. Vidro montado por colagem periférica sobre um caixilho metálico.

Vidro float

Vidro transparente obtido pelo processo “float” (o vidro fundido “flutua” sobre um banho de estanho em fusão).

Vidro laminado

Composição de vários vidros recozidos, termo-endurecidos ou temperados solidarizados através de intercalares (geralmente em PVB).

Vidro recozido

Vidro float comum obtido à saída de uma linha float. No curso de fabricação, um arrefecimento lento e controlado (recozimento) liberta as tensões internas que possam existir no seio do vidro facilitando posteriores operações de corte e manufactura.

Vidro temperado termicamente

Vidro submetido a um tratamento térmico num forno de têmpera. Este processo aumenta consideravelmente a sua resistência mecânica e a sua resistência ao choque térmico. A sua fragmentação específica permite a este vidro considerá-lo como um produto de segurança em inúmeras aplicações.

Vidro termo-endurecido

Vidro submetido a um tratamento térmico específico num forno de têmpera. Este tratamento aumenta a resistência mecânica e a resistência ao choque térmico. Contudo, não pode ser considerado como um produto de segurança.

A1.3. Energia primária

Ano Meteorológico Típico de um lugar (AMT)

Conjunto de valores da irradiação horária correspondentes a um ano hipotético, que se constrói elegendo, para cada mês, um mês de um ano real cujo valor médio mensal da irradiação global diária horizontal coincida com o correspondente a todos os anos obtidos da base de dados.

Irradiação

Energia incidente numa superfície por unidade de superfície e ao longo de um certo período de tempo. Mede-se em kWh/m².

Irradiância (G)

Densidade de potência incidente numa superfície ou energia incidente numa superfície por unidade de tempo e unidade de superfície. Mede-se em kW/m².

Radiação solar (S)

Energia procedente do Sol em forma de ondas electromagnéticas.

A1.4. Instalação

Acumulador

Um acumulador é um aparelho que armazena quimicamente energia eléctrica através da passagem de corrente contínua através deste. Funciona como uma espécie de pilha ou bateria que pode ser recarregada.

Auto descarga

Perda de carga da bateria quando esta permanece em circuito aberto. Habitualmente expressa-se como percentagem da capacidade nominal, medida durante um mês, e a uma temperatura de 20 °C.

Bateria

Fonte de tensão contínua formada por um conjunto de câmaras electroquímicas interconectadas.

Câmara de bateria

Elemento electroquímico básico que forma parte da bateria, e cuja tensão nominal é aproximadamente 2 V.

Capacidade de sobrecarga

Capacidade do inversor para entregar maior potencia que a nominal durante certos intervalos de tempo.

Capacidade nominal: C_{20} (Ah)

Quantidade de carga que é possível extrair de uma bateria em 20 horas, medida a uma temperatura de 20 °C, até que a tensão entre os seus terminais chegue a 1,8 V/câmara.

Capacidade útil

Capacidade disponível ou utilizável da bateria. Define-se como o produto da capacidade nominal e a profundidade de descarga máxima permitida, PD_{Max} .

Estado de carga

Quociente entre a capacidade residual de uma bateria, em geral parcialmente descarregada, e sua capacidade nominal.

Factor de potência

Quociente entre a potência activa (W) e a potência aparente (VA) à saída do inversor.

Gerador fotovoltaico

Associação em paralelo de ramos fotovoltaicos.

Interruptor automático da interconexão

Dispositivo de corte automático sobre o qual actuam as protecções de interconexão.

Interruptor geral

Dispositivo de segurança e manobra que permite separar a instalação fotovoltaica da rede da empresa distribuidora.

Inversor

Conversor de tensão e corrente contínua em tensão e corrente alternada.

Linha e ponto de conexão e medida

A linha de conexão é a linha eléctrica mediante a qual se conectam as instalações fotovoltaicas com um ponto de rede da empresa distribuidora ou com o ponto de rede do utilizador, denominado ponto de conexão e medida.

Marcação CE

Desde a entrada em vigor da marcação europeia, qualquer produto em vidro utilizado em construção ou em edifícios e comercializado na União Europeia, tem de evidenciar marcação. Esta marcação pode vir colocada sobre o produto, sobre a sua embalagem ou sobre os documentos comerciais que o acompanham.

Potência da instalação fotovoltaica ou potência nominal

Soma da potencia nominal dos inversores (a especificada pelo fabricante) que intervém nas três fases da instalação em condições nominais de funcionamento.

Potência nominal (P_n)

Potência especificada pelo fabricante, e que o inversor é capaz de entregar de forma contínua.

Potência nominal do gerador

Soma das potências máximas dos módulos fotovoltaicos.

Profundidade de descarga (PD)

Quociente entre a carga extraída de uma bateria e sua capacidade nominal. Expressa-se habitualmente em %.

Ramo fotovoltaico

Subconjunto de módulos interconectados em série ou em associações série-paralelo, com voltagem igual à tensão nominal do gerador.

Regime de carga (ou descarga)

Parâmetro que relaciona a capacidade nominal da bateria e o valor da corrente à qual se realiza a carga (ou a descarga). Expressa-se normalmente em horas, representa-se como um sub-índice no símbolo da capacidade e da corrente à qual se realiza a carga (ou a descarga).

Regulador de carga

Dispositivo encarregado de proteger a bateria face a sobrecargas e sobredescargas. O regulador poderá não incluir alguma destas funções se existe outro componente do sistema encarregado de realizá-las.

Rendimento do inversor

Relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor. Depende da potencia e da temperatura de operação.

Voltagem de desconexão das cargas de consumo

Voltagem da bateria por debaixo da qual se interrompe o fornecimento de electricidade às cargas de consumo.

Voltagem final de carga

Voltagem da bateria por encima da qual se interrompe a conexão entre o gerador fotovoltaico e a bateria, ou reduz gradualmente a corrente media entregue pelo gerador fotovoltaico.

 V_{RMS}

Valor eficaz da tensão alternada de saída.

A1.5. Módulos fotovoltaicos**Células de silício cristalino (1ª Geração)**

São células feitas através da utilização de placas de silício. Podem ser células de silício monocristalino (um único cristal) que são produzidas de forma circular, semi-quadrada ou quadrada dependendo da quantidade que é extraída do cristal único ou de silício policristalino, onde, durante a fundição do bloco, se formam cristais com várias orientações. Estas últimas são produzidas na forma quadrada.

Célula de tecnologia equivalente (CTE)

Célula solar encapsulada de forma independente, cuja tecnologia de fabrico e encapsulamento é idêntica à dos módulos fotovoltaicos que formam a instalação.

Célula solar ou fotovoltaica

Dispositivo que transforma a radiação solar em energia eléctrica.

Condições Standard de Medida (CEM)

Condições de irradiância e temperatura na célula solar, utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos e geradores solares e definidas do modo seguinte:

- Irradiância solar: 1000 W/m²;
- Distribuição espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C.

Módulo ou painel fotovoltaico

Conjunto de células solares directamente interconectadas e encapsuladas como bloco único, entre materiais que as protegem dos efeitos das intempéries.

Potência de pico

Potência máxima do painel fotovoltaico em CEM.

TONC

Temperatura de operação nominal da célula, definida como a temperatura que alcançam as células solares quando se submete o módulo a uma irradiância de 800 W/m² com distribuição espectral AM 1,5 G, a temperatura ambiente é de 20 °C e a velocidade do vento, de 1 m/s.

Anexo B
Qualificação da concepção e homologação de módulos
fotovoltaicos

ANEXO B

B1. Qualificação da concepção e homologação de módulos fotovoltaicos

B1. QUALIFICAÇÃO DA CONCEPÇÃO E HOMOLOGAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para os ensaios de qualificação devem tomar-se ao acaso 8 módulos, de um ou mais lotes de produção. Os módulos devem estar fabricados com os materiais e componentes especificados nos planos e processos das folhas técnicas e estar sujeitos à inspeção normal do fabricante, ao controlo de qualidade e aos procedimentos de aceitação da produção.

Os módulos devem estar marcados com a seguinte informação:

- ✓ Nome ou símbolo do fabricante;
- ✓ Tipo ou nome de modelo;
- ✓ Número de série;
- ✓ Polaridade dos terminais de contacto;
- ✓ Tensão máxima do sistema para o módulo adequado.

Antes de começar os ensaios, todos os módulos devem expor-se à luz solar, a um nível de irradiação entre 5 kWh.m^{-2} e $5,5 \text{ kWh.m}^{-2}$, permanecendo em circuito aberto. Os módulos devem dividir-se em grupos e submeter-se às sequências dos ensaios de qualificação, como se pode observar na figura B1, levados a cabo na ordem estabelecida.

A concepção de um módulo deve considerar-se que passou na aprovação dos ensaios de qualificação, tendo recebido a homologação IEC (International electrotechnical commission), se cada uma das amostras do ensaio cumprir com os seguintes critérios:

1. A degradação da potência máxima de saída depois de cada ensaio não supera o limite estabelecido, nem os 8% depois de cada sequência;
2. Nenhuma amostra tenha apresentado circuito aberto algum durante os ensaios;
3. Não há evidência visual de defeitos importantes;
4. Se cumprir com os requisitos do ensaio de isolamento, depois dos ensaios;
5. Se cumprir com os requisitos do ensaio de corrente de fugas do módulo ao início e ao fim de cada sequência e depois do ensaio de calor húmido;
6. Se cumprir com os requisitos dos ensaios individuais.

Se dois ou mais módulos não cumprirem este critérios de ensaio, considera-se que a concepção não corresponde aos requisitos da qualificação. Se um módulo falhar em qualquer

ensaio, outros dois módulos que cumpram os requisitos, devem submeter-se à totalidade da sequência de ensaios correspondente, desde o início. Se um ou ambos destes módulos falharem também, considera-se que a concepção não corresponde aos requisitos da qualificação. Pelo contrário, se ambos os módulos passarem na sequência de ensaios, deve considerar-se que a concepção corresponde aos requisitos da qualificação.

Para efeitos de homologação, consideram-se os defeitos visuais mais importantes, os seguintes:

1. Superfícies exteriores danificadas, partidas ou com rasgos visíveis, incluindo a parte frontal e posterior, aros e caixas de conexões;
2. Superfícies exteriores curvadas ou desalinhadas, incluindo a parte frontal e posterior, aros e caixas de conexões, cujo estado implicaria a deterioração da instalação e/ou o funcionamento do módulo;
3. Um rasgo numa célula cuja continuidade poderia isolar do circuito eléctrico do módulo mais de 10% da área da referida célula;
4. Borbulhas ou zonas desgastadas que criem um caminho contínuo entre qualquer parte do circuito eléctrico e a extremidade do módulo;
5. Perda da integridade mecânica que implicaria a deterioração da instalação e/ou do funcionamento do módulo;

Procedimentos do ensaio (a numeração a utilizar é a mesma que se utiliza nos ensaios):

10. 1 Inspecção visual: O objectivo é detectar qualquer defeito visual no módulo. Neste procedimento inspecciona-se cada módulo, numa iluminação inferior a 1000 lux tendo em conta os diversos aspectos referidos na norma;
10. 2 Determinação da potência máxima: O objectivo é determinar a potência máxima do módulo antes e depois dos diferentes ensaios ambientais. O factor mais importante é a repetição dos ensaios;
10. 3 Ensaio de Isolamento: O objectivo deste ensaio é determinar se o módulo está ou não suficientemente bem isolado entre as partes condutoras de corrente e o aro ou o ambiente exterior;
10. 4 Medição dos coeficientes de temperatura: O objectivo deste ensaio é determinar os coeficientes de temperatura da intensidade de corrente, da tensão e da potência pico

a partir de medições realizadas sobre o módulo. Os coeficientes assim determinados são válidos para a irradiância a que se realizaram as medições;

10. 5 Medição da temperatura de operação nominal da célula, TONC: O objectivo deste ensaio é determinar a TONC do módulo, considerando os seguintes valores:

- Ângulo de inclinação: 45° com a horizontal
- Irradiância total: 800 W.m⁻²
- Temperatura ambiente: 20 °C
- Velocidade do vento: 1 m.s⁻¹
- Carga eléctrica: nenhuma (circuito aberto)

10. 6 Comportamento em CEM e TONC: O objectivo é determinar como o comportamento eléctrico do módulo varia com a carga CEM (1000W.m⁻², temperatura da célula solar 25°C, distribuição espectral da irradiância solar de referência segundo a norma IEC 60904-3) e a TONC e uma irradiância de 800W.m⁻² com a distribuição espectral de irradiância de referência segundo a Norma IEC 60904-3;

10. 7 Funcionamento a baixa irradiância: O objectivo é determinar como varia o comportamento eléctrico do módulo de carga a 25°C e a uma irradiância de 200W.m⁻² (medida com um dispositivo de referência adequado), de acordo com a norma IEC 60904-1, utilizando luz solar natural ou um simulador de classe B, ou melhor, conforme os requisitos da Norma IEC 60904-9;

10. 8 Ensaio de exposição no exterior: O objectivo deste ensaio é realizar uma avaliação preliminar da capacidade do módulo suportar a exposição às condições exteriores e detectar os efeitos da degradação sinérgica que não se possam detectar mediante os ensaios de laboratório;

10. 9 Ensaio de resistência a formação de pontos quentes: O objectivo deste ensaio é determinar a capacidade do módulo para resistir aos efeitos de aquecimento pela existência de pontos quentes, como por exemplo uma soldadura derretida ou a deterioração da cápsula. Este defeito poderá ser provocado por células rachadas ou

desencaixadas, falhas de interconexão, sombreamento parcial ou sujidade superficial;

10. 10 Ensaio de pré-acondicionamento com UV: O objectivo é pré-acondicionar o módulo com radiação ultravioleta (UV) antes dos ensaios de ciclos térmicos/humidade congelação para identificar aqueles materiais e adesivos que são susceptíveis de degradação por UV;
10. 11 Ensaio de ciclos térmicos: O objectivo é determinar a capacidade do módulo resistir a desequilíbrios térmicos, fadigas ou outras tensões causadas por repetidas variações de temperatura;
10. 12 Ensaio de humidade-congelação: O objectivo deste ensaio é determinar a capacidade do módulo resistir aos efeitos das altas temperaturas e humidade seguidas de temperaturas negativas. Este ensaio não é de choque térmico;
10. 13 Ensaio de calor húmido: O objectivo é determinar a capacidade do módulo resistir aos efeitos a longo prazo de penetração da humidade;
10. 14 Ensaio de robustez dos terminais: O objectivo é determinar se os terminais e as fixações dos terminais ao corpo do módulo resistem a tensões mecânicas tais como aplicadas durante a montagem ou a manipulação normal dos módulos;
10. 15 Ensaio de corrente de fugas do módulo molhado: O objectivo é avaliar o isolamento do módulo em operação estando molhado e verificar que a humidade da chuva, condensação, nevoeiro ou neve derretida não entra nas partes activas do circuito do módulo, onde poderia causar corrosão, variação na massa ou um risco para a segurança;
10. 16 Ensaio de carga mecânica: O objectivo deste ensaio é determinar a capacidade do módulo para resistir a cargas de vento, neve, estáticas ou de gelo;
10. 17 Ensaio de Granizo: O objectivo é verificar que o módulo é capaz de resistir ao impacto do granizo;

11. 18 Ensaio térmico de díodos de derivação: O objectivo é avaliar a adequação do desenho térmico e a fiabilidade relativa a longo prazo dos díodos de derivação, utilizados para limitar os efeitos nocivos da susceptibilidade do módulo ao efeito de ponto quente.

O esquema das sequências dos ensaios de qualificação pode ser observado na Figura B1.

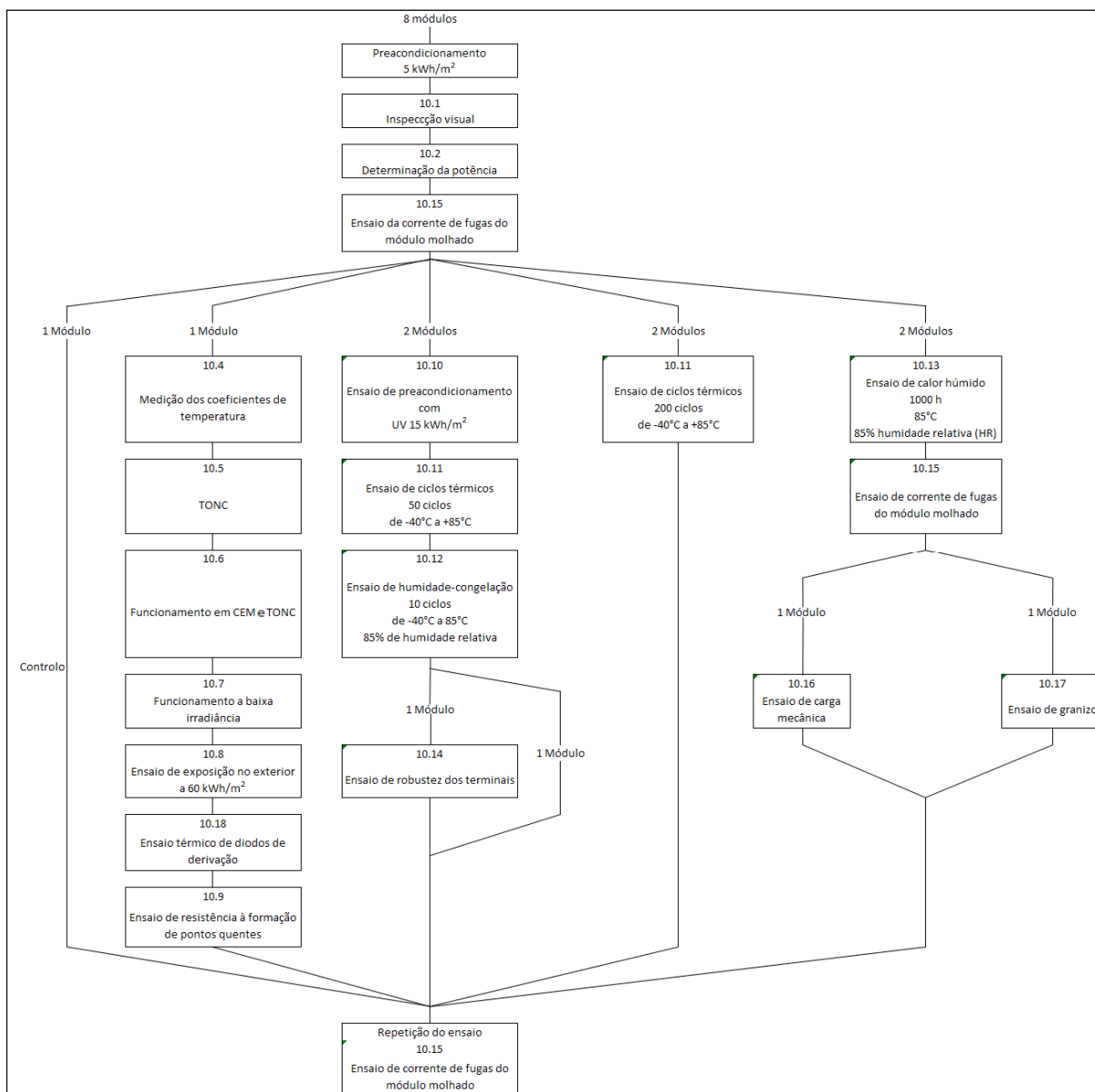


Figura B1. Sequências dos ensaios de qualificação.

ANEXO C

C1. Parecer técnico “Respirant Reflet Nuage”

- C1.1. Considerações sobre o processo
- C1.2. Especificação dos requisitos técnicos
- C1.3. Outras observações do grupo especializado
- C1.4. Materiais, produtos e componentes
- C1.5. Elementos
- C1.6. Fabrico
- C1.7. Execução
- C1.8. Manutenção e reparação

1. C1. PARECER TÉCNICO “RESPIRANT REFLET NUAGE”

C1.1. Considerações sobre o processo

No que respeita à estabilidade, as fachadas não participam, por natureza, para a estabilidade global dos edifícios, que se encontra na estrutura destes. A estabilidade própria das fachadas sob as solicitações climáticas e sob o peso dos vidros pode ser adequadamente garantida no domínio da utilização comum.

No domínio da segurança em caso de incêndio, esta não é comprometida pela utilização de perfis com ruptura térmica, ou pela aplicação do princípio da respiração da caixa-de-ar, ou pela aplicação do princípio da fixação dos vidros por colagem. A implicação em termos de segurança, no caso de uma frente de incêndio numa fachada de vidro utilizando os painéis de vidro respirantes, como acontece com qualquer outra, é ser examinado caso a caso, dependendo dos diversos regulamentos relativos à habitação, estabelecimentos públicos e edifícios de grande altura.

A segurança em caso de choque pode ser normalmente assegurada pela utilização de vidros adequados.

A segurança das pessoas pode ser assegurada através da execução de elementos de fachada com técnicas usuais.

Para garantir o isolamento térmico, terão de se satisfazer os requisitos mínimos estabelecidos pela regulamentação térmica RT2000. Estes requisitos referem-se tanto ao frio do inverno, como ao calor do verão, e são testados em condições de valores máximos admissíveis do coeficiente de transmissão superficial, U, e de factor solar S.

Cálculo do coeficiente de transmissão superficial, U.

O coeficiente de transmissão superficial da fachada é calculado de acordo com as regras Th-U, como uma média ponderada dos coeficientes superficiais dos elementos pelas correspondentes áreas. O coeficiente de transmissão superficial de um elemento de fachada frontal é calculado pela fórmula:

$$U_{cwi} = \frac{\sum U_A + \sum \psi L}{A_{cwi}} \quad (1)$$

Em que:

U: Coeficiente de superfície dos componentes: painel de vidro opaco e perfil de fachada, W/(m².K).

A : superfície correspondente em m^2 .

Ψ : Coeficiente linear da junção perfil de fachada – painel de vidro opaco em $W/(m.k)$.

L : comprimento correspondente em m.

A_{cwi} : Área dos elementos de fachada.

Cálculo do factor solar, S .

O cálculo do factor solar da fachada deve ser feita em conformidade com as regras Th-S 2001. A nível de conforto acústico, a utilização de perfis de rotura térmica ou fixação por colagem de vidros, não tem influência significativa sobre as propriedades acústicas das fachadas. A aplicação dos princípios da respiração pode ajudar, através da espessura da caixa-de-ar e da possibilidade de associação de vidros de espessura sensivelmente diferentes, a melhorar o desempenho acústico por comparação com as estruturas equipadas com vidro de isolamento correntes, no entanto, essas performances acústicas devem ser verificadas experimentalmente caso a caso.

A estanquidade ao ar e à água pode ser assegurada no domínio de utilização comum.

Os coeficientes de transferência de calor superficial e linear destinado a calcular a média do coeficiente U médio da fachada, de acordo com as normas Th-U são dados abaixo:

Tabela C1. Coeficiente U_f dos perfis da fachada.

Referência dos perfis	U_f em $W/(m^2.K)$

Tabela C2. Valores do coeficiente de junção: vidro - perfis de fachada.

	U_g ($W/m^2.K$)				
Ψ_g ($W/m.K$)	1,2	1,5	1,8	2	2,9
Referência dos perfis					

U_g - Coeficiente de superfície na parte central do vidro em $W/(m^2.K)$.

Tabela C3. Valores do coeficiente de junção: painel opaco - perfil fachada.

	U_p ($W/m^2.K$)				
Ψ_p ($W/m.K$)	1,2	1,5	1,8	2	2,9
Referência dos perfis					

Up - Coeficiente superficial na parte central do painel opaco. Deve ser determinada em conformidade com as regras Th-U.

No que concerne a durabilidade e manutenção, a qualidade das barretes de poliamida e a sua aplicação nos perfis, regularmente monitorizados, são susceptíveis de permitir a realização de quadros cujos comportamentos são equivalente à dos tradicionais perfis de alumínio com as mesmas limitações de manutenção.

O risco de condensação na caixa-de-ar respirante parece insignificante desde que, no caso dos locais em sobrepressão resultante de climatização, este excesso não exceder 50 Pa. No entanto, uma mancha pontual e momentânea de condensação não pode ser totalmente excluída em condições climáticas particulares incluindo uma radiação nocturna.

Qualquer operação de manutenção no interior dos volumes respirantes ou sobre os estores exige a remoção do vidro a partir do interior.

No que respeita a fabrico e controle:

- ✓ Perfil adaptador (ref.^a 5569) - o processo de controlo da extrusão e da anodização, estabelecido pela sociedade “Architectural Systems” garante uma qualidade consistente;
- ✓ Perfis de corte térmico - as disposições atribuídas à sociedade “Technal Industries”, são destinadas a assegurar a qualidade consistente do perfil. O auto controle de fabricação é conforme o estipulado na norma XP P24-400;
- ✓ Elemento de fachada e realização da colagem - A sociedade “Architectural Systems” deve assistir tecnicamente as empresas que realizam o fabrico de elementos de fachada e de colagem. O auto controle efectuado por qualquer unidade que faz a colagem seja objecto de um processo de acompanhamento estabelecido pelo CSTB.

A execução, realizada por empresas assistidas tecnicamente pela sociedade “Architectural Systems”, utilizando dispositivos exteriores de montagem (andaimes, bailéus) e de lavagem de módulos pode ser efectuada em uma ou em duas fases. O sistema permite uma fácil remoção do vidro danificado acidentalmente cuja substituição pode ser realizada de forma isolada.

C1.2. Especificação dos requisitos técnicos

Condições referentes à concepção.

Como acontece com qualquer muro cortina, este sistema de revestimento deve obedecer aos requisitos da norma experimental P 28-004 que define as especificações e métodos para a determinação do ponto de vista da resistência mecânica, segurança, habitabilidade e resistência a choques.

As portas abertas devem satisfazer os requisitos das normas NF P 24-301, NF P 20-501 e, sobretudo a norma NF P20-302, que satisfaz os critérios de resistência mecânica comum e específica e de resistência “Enduro” (Especificação CSTB 2837).

Na ausência do certificado de qualificação das janelas, o desempenho de estanquidade ao ar, à água e resistência ao vento pode ser determinada por testes realizados caso a caso.

Os vidros utilizados devem ser calculados mediante a aplicação do DTU 39 NF P 78-201, devendo ser considerado que:

- ✓ O envidraçado interior suporta todos os efeitos do vento;
- ✓ O envidraçado exterior está considerado apenas para suportar metade dos efeitos do vento;
- ✓ Que no caso da integração de um estore na caixa-de-ar, e salvo justificação por um cálculo que tenham em conta as características energéticas do vidro e do estores, os dois vidros devem ser temperados.

O cálculo da temperatura atingida no vidro e no perfil intercalar (no caso de vidros laminados PVB) deve cumprir os requisitos do caderno de especificações CSTB nº 3242.

Para garantir um comportamento satisfatório do sistema respirante, a concepção da estrutura e do sistema de climatização dos locais deve permitir conservar uma temperatura interna mínima de 15 ° C, um máximo de humidade relativa de 50% e uma sobrepressão eventual (local climatizado) interior de 50 Pa no máximo.

Condições referentes ao fabrico.

O jogo nominal de funcionamento entre porta e janela abrir à italiana deve ser feita com uma tolerância de 1 mm.

Os tratamentos de superfície dos perfis de alumínio deverão ser executadas de acordo com as especificações definidas no dossier técnico.

A fabricação de perfis deve ser objecto de um acompanhamento contínuo em que os resultados são gravados sob um registo. A regularidade, eficiência e os resultados deste auto controlo serão verificados regularmente pelo CSTB e será relatada ao grupo especializado.

A maquinaria, montagem dos quadros assim como a realização da vedação deve ser objecto de especial atenção e respeitar as recomendações descritas na documentação “Technique Architectural Systems”.

Em caso da integração de um estore na caixa-de-ar, este deve ser executado na fábrica da empresa responsável pela realização dos elementos de fachada.

Condições referentes à execução.

O facto de se conseguir reduzir o tempo entre a colocação dos primeiros quadros respirantes e o fecho do edifício permite evitar condensações temporárias nos volumes, seguindo as sugestões para a manutenção.

Condições referentes à manutenção.

A sociedade “Architectural Systems” é obrigada a fornecer aos seus clientes um registo de manutenção indicando a referência e origem dos filtros integrados nos dispositivos respirantes, assim como o modo operativo de acesso a esses filtros.

C1.3. Outras observações do grupo especializado

Como acontece com qualquer fachada incorporando elementos respirantes, é necessário ter cuidado com a realização dos quadros e das fixações, que condicionam o bom comportamento do sistema respiratório. O dossier técnico especifica as disposições a serem tomadas nesse sentido.

Em caso da integração de um estore na caixa-de-ar, o desempenho destes deve ser determinado em conformidade com o projecto da norma PREN13120 e preencher os seguintes requisitos mínimos:

- ✓ Classe de durabilidade 2;
- ✓ Classe de resistência à corrosão 2, e apresentar um comportamento satisfatório, a uma temperatura de 80 ° C.

O parecer técnico não faz contudo menção ao funcionamento dos estores.

Devido à utilização de um filtro de malha de 1 mm, é provável que a manutenção regular dos vidros do lado da caixa-de-ar seja necessária, uma vez que o filtro é permeável à poeira e à poluição.

A implementação de uma fachada ligeira incorporando envidraçados respirantes exige consulta durante a fase de concepção do edifício entre o proprietário da fachada e o gabinete de projecto ou empresa responsável pela climatização. Na verdade, o bom comportamento da fachada está relacionado com as condições ambientais (uma temperatura mínima de +15 ° C). O não cumprimento temporário dessas instruções poderá resultar numa condensação superficial temporária na caixa-de-ar.

C1.4. Materiais, produtos e componentes

Perfil adaptador (ref.^a 5569).

É um perfil extrudido em liga de alumínio EN AW 6060 T5, em conformidade com a norma NF EN 755-2 com um tratamento superficial anodizado de 15 micron, exclusivamente na cor natural em conformidade com a norma NF A 91-450, e o rótulo “Qualanod” original. Possui uma ranhura em forma de V, no lado oposto àquele que é reservado à colagem. No lado reservado para a colagem, e após anodização, é efectuada a identificação de um conjunto de perfis por uma inscrição colocada cada 500 mm e contendo as seguintes indicações: anodizador, n° de semana e ano. As barretes têm a validade de uma ano.

Outros perfis (ref.^a 5001M, 5008M, 5350D, 5009M, 5002M, 3027P, 3023P, 5087P, 5003V).

Perfis extrudidos em liga de alumínio EN AW 6060 T5, de acordo com a norma NF EN 755-2 e recebendo:

- ✓ Um tratamento anódico de 15 micron, com ou sem coloração electrolítica, conforme a norma e com etiqueta “Qualanod”;
- ✓ Um revestimento orgânico com a etiqueta “Qualicoat” ou “Qualicoat gama de qualidade marinha” para execução em distâncias a menos de 3 km do mar.

Perfis RPT (ref.^a 5360F e 5370D).

As barretes de poliamida PA6-6 com fibra de vidro com cordão termofusível são extrudidas por empresas especializadas.

Silicone mástique.

A colagem é comprovada pela etiqueta SNJF-VEC. É possível a aplicação de primário e solventes de limpeza para colagem de metal e vidro, identificados por testes adequados ao projecto.

Espaçador.

Perfil de secção quadrada ou rectangular, com ambos os lados adesivos:

- ✓ Espuma alveolar de poliuretano, referência de origem DFI;
- ✓ Butilo de referência SST, de origem “TREMCO”;
- ✓ Espaçador “Vito”.

Vidros utilizados em quadros respirantes.

- ✓ Vidros exteriores: vidros monolíticos ou laminados com 6 a 8 mm de espessura, claros, possivelmente com camada de baixa emissividade (apenas de tipo pirolítico).
- ✓ Vidros interiores:
 - Vidros monolíticos ou laminados de 6 a 11 milímetros de espessura, claros, ou com camada de baixa emissividade (apenas de tipo pirolítico).
 - Vidros isolantes com o máximo de 24 milímetros de espessura, que podem incluir uma camada baixo-emissiva, para obter um coeficiente de transmissão térmica $U_g \geq 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Vidros utilizáveis no revestimento de zonas opacas:

Vidro temperado de espessura de 6 a 12 mm, esmaltado, opacificado, claro, colorido ou com camada reflectora visível e baixo emissiva.

Acessórios de janela de abertura à italiana.

Compassos de aço inoxidável de tipo “Italinox”, não permitem a limpeza pelo interior.

- ✓ “Italinox” 6000 referência Q0056. Peso máximo da folha de 80 kg. Altura de 500 a 1200 mm. Largura máxima de 2000 mm. Ângulo de abertura de 25 ° no máximo.
- ✓ “Italinox” 7000 referência Q0003. Peso máximo da folha de 120 kg. Altura 800 a 2000 mm. Largura máxima de 1750 mm.

A utilização de cutelos e referências de ângulos é definida na documentação técnica “Architectural Systems”. Ângulo de abertura de 15 ° no máximo.

Dispositivos de segurança:

- ✓ Seções do perfil em forma de L de liga de alumínio 6060 T5 extrudidas.
- ✓ Peça moldada com um ângulo em ZAMAK 5 e fixa com um rebite cego Ø3,2 lg 10.

Juntas EPDM.

Extrudidas conforme a norma NF P 85-301.

Filtro respirante (ref.^a QX095).

Dimensões totais de 11 mm com um malha de 1000 µm e com uma área de livre passagem de ar à volta de 545 mm².

C1.5. Elementos

Os envidraçados respirantes são destinados a ser colocados no revestimento de fachadas ligeiras do tipo muro cortina.

Ligação ao suporte.

Os quadros de alumínio secundário estão ligados à estrutura principal pelas peças de fixação, para garantir tanto a distribuição dos esforços, como a diferença de dilatações. Elas são idênticas às dos pareceres técnicos dos sistemas “Reflet” e “Nuage”.

Quadros respirantes de revestimento.

- ✓ Mesmo que os revestimentos sejam fixos ou de abertura, a concepção dos quadros permanece a mesma.
- ✓ Estes quadros são feitos de perfis de alumínio com ruptura térmica, separador de corte, e são selados.
- ✓ Os vidros interiores são implementados na montagem da moldura com dois perfis EPDM:
 - Referência JCX50: junta de quadro para ângulos vulcanizados.
 - Referência J0123: perfil clipado na moldura interior.
- ✓ O vidro exterior pode ser fixado à moldura através de perfis e seguro por peças em aço inoxidável, ou colado, usando a técnica VEC através do perfil adaptador 5569 inserido no perfil de quadro.
- ✓ A caixa-de-ar formada é de 68 mm.

✓ A travessa inferior é maquinada com dois rasgos para montagem da peça de respiração, constituída por dois elementos. O número de filtros distribuídos ao longo da travessa inferior é determinado para a maior utilização pela seguinte fórmula:

- No caso de um vidro simples interior: $n \geq 0,89 H \times L$
- No caso de um vidro de isolamento interior: $n \geq 1,54 H \times L$

H: altura em metros do quadro respirante (eixo a eixo).

L: largura em metros do quadro respirante (eixo a eixo).

Incorporação de um estore com comando eléctrico.

Uma persiana com uma lâmina de alumínio de 25 mm podem ser implementada na caixa de ar. Uma folga mínima de 31 mm entre a lâmina inferior do estore e a travessa inferior onde estão incorporados os filtros de respiração, é mantida pela implantação do suporte conductor referência QX338.

Durante a incorporação de um estore, os perfis de quadro são maquinados para a passagem dos cabos e a instalação do comutador, no caso de abertura à italiana. A alimentação dos estores é feita em baixa tensão.

C1.6. Fabrico

Perfil adaptador (ref.^a 5569) / perfil de rotura térmica / realização da colagem.

A extrusão e a anodização do perfil adaptador (ref.^a 5569) são executadas pela “Technal Industries”. As especificações (ou procedimentos), definem os requisitos de fabricação própria, de autocontrolo (certificado de inspecção emitido pela HAP e TI), a marcação dos lotes, a embalagem e a preparação de amostras para testes de conveniência.

A montagem por cravagem do perfil referência 5360 F é feita pela “Technal Industries” em conformidade com as especificações da norma P24-400.

A colagem VEC é realizada por empresas especializadas em conformidade com as directivas e documentos técnicos da “Architectural Systems”, do fornecedor de silicone e especificações CSTB 3130. O controlo aquando da execução da colagem, em conformidade com os requisitos do caderno de especificações CSTB 31310, são objecto de acompanhamento por um organismo externo.

Quadros respirantes de revestimento.

A montagem dos perfis e a execução dos quadros respirantes é realizado em conformidade com as directivas “Architectural Systems”.

É particularmente importante realizar os seguintes passos:

- ✓ Dimensionamento dos esquadros.
- ✓ Selagem do corte.
- ✓ Selagem dos pontos de cravagem.
- ✓ Selagem de fixações de peças de suporte e peças de segurança.
- ✓ Selagem da moldura para a variante “Reflet”.
- ✓ Montagem e selagem da periferia dos filtros.
- ✓ Montagem da junta de quadro JCX50.
- ✓ Selagem da zona de passagem dos cabos dos estores.

A assistência técnica “Architectural Systems” é fornecida incluindo uma documentação técnica complementada por um suporte fotográfico.

C1.7. Execução

- ✓ Um importante trabalho realizado foi a criação dos clips de fixação;
- ✓ Os clips são fixos sobre carris contínuos ou descontínuos incorporados nos trabalhos de betonagem. A fixação também pode ser feita com buchas de expansão em conformidade com a “Technique Européen”;
- ✓ Implantação da estrutura secundária;
- ✓ Colocação dos quadros fixos;
- ✓ Colocação de parafusos anti-vandalismo;
- ✓ Realização de acabamentos: selagens várias exteriores, corta-fogo entre andares e selagens interiores. Na fachada, uma aba será utilizada para limitar os fenómenos de saída dos filtros;

C1.8. Manutenção e reparação

Reparação.

Qualquer defeito encontrado num quadro de vidro e necessitando de intervenção, tem como resultado:

- ✓ A remoção do quadro e:
 - A sua substituição por um novo;

- A reposição após a reparação em fábrica.
- ✓ Uma reparação in situ quando seja possível.

Manutenção.

- ✓ Fachada de vidro esmaltado:
 - Frequentemente - lavar com água limpa, seguido de limpeza com pano de camurça.
 - Limpar a sujidade - manchas de pintura, limpeza com solvente ou diluente compatível com selante de silicone seguida de lavagem com água (produtos com uma elevada concentração de amoníaco são proibida).
 - Manchas excepcionais: consultar o fornecedor.
- ✓ Fachada de vidro esmaltado reflectante:
 - Frequentemente - lavar com água limpa e limpar com um pano de camurça.
 - Limpar a sujidade: todos os produtos comerciais que não contenham abrasivos. No entanto, é prudente consultar o fornecedor sobre a adequação do produto considerado.
- ✓ Elementos de alumínio anodizado:
 - Manutenção: lavar com esponja húmida com água e sabão.
 - Pequenos depósitos de sujidade: lavar com água e um agente molhante, seguido por uma enxaguadela com água clara e de uma secagem.
 - Depósitos importantes de sujidade: lavagem com água misturada com um agente molhante de acordo com o detergente, depois limpar com um solvente compatível com o silicone, seguido de enxaguadela e secagem.

A “Architectural Systems” fornece indicações de manutenção específicas dos quadros respirantes, com apoio de suporte fotográfico.

As indicações são particularmente relevantes para as operações seguintes:

- ✓ Remoção e reinstalação do vidro interior para intervenção na caixa-de-ar;
- ✓ Controle dos filtros (limpeza ou substituição);
- ✓ Intervenção sobre os estores.

Anexo D

Alçados e cortes da fachada e clarabóias

ANEXO D

Alçados e cortes da fachada e clarabóias

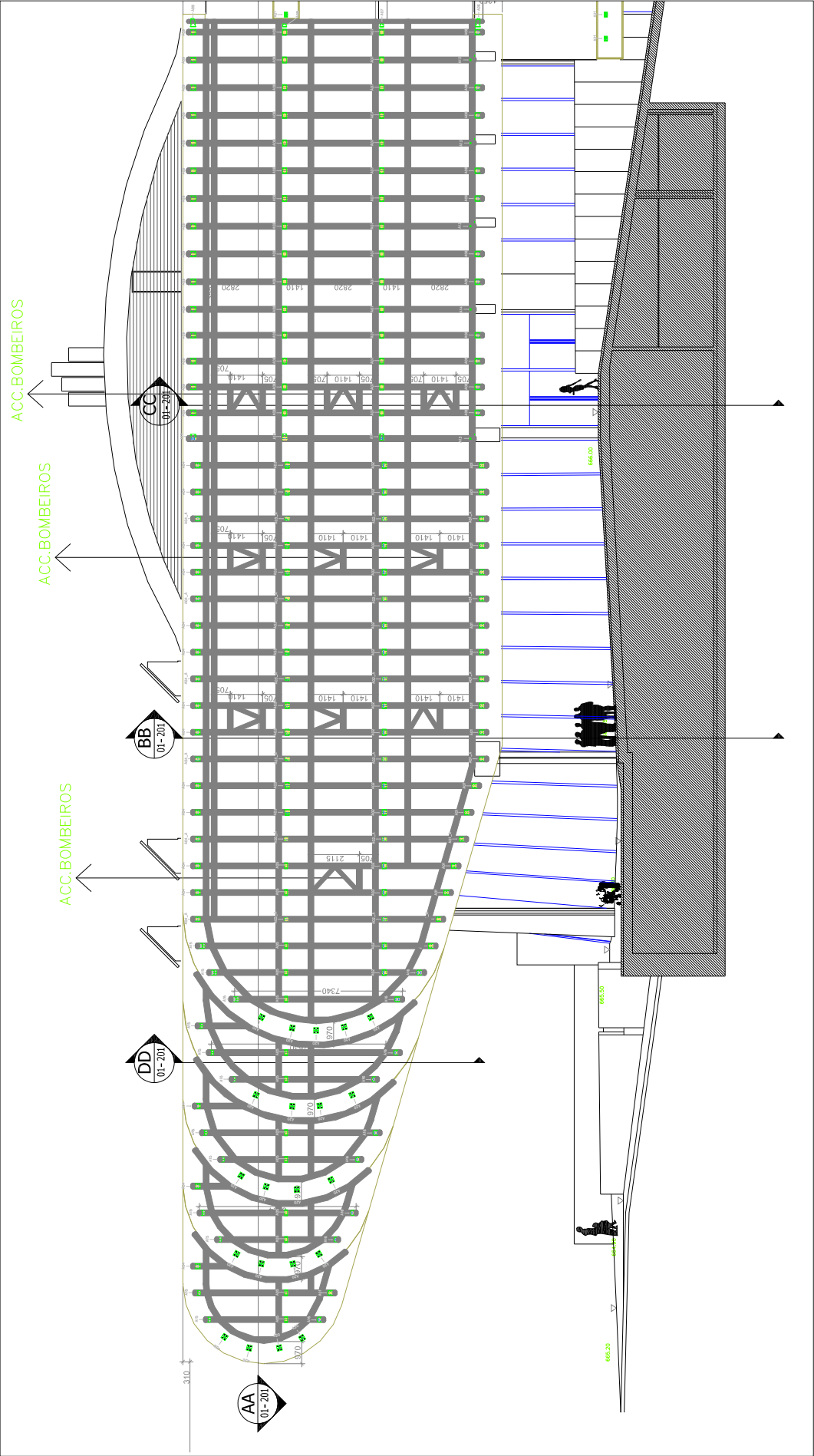
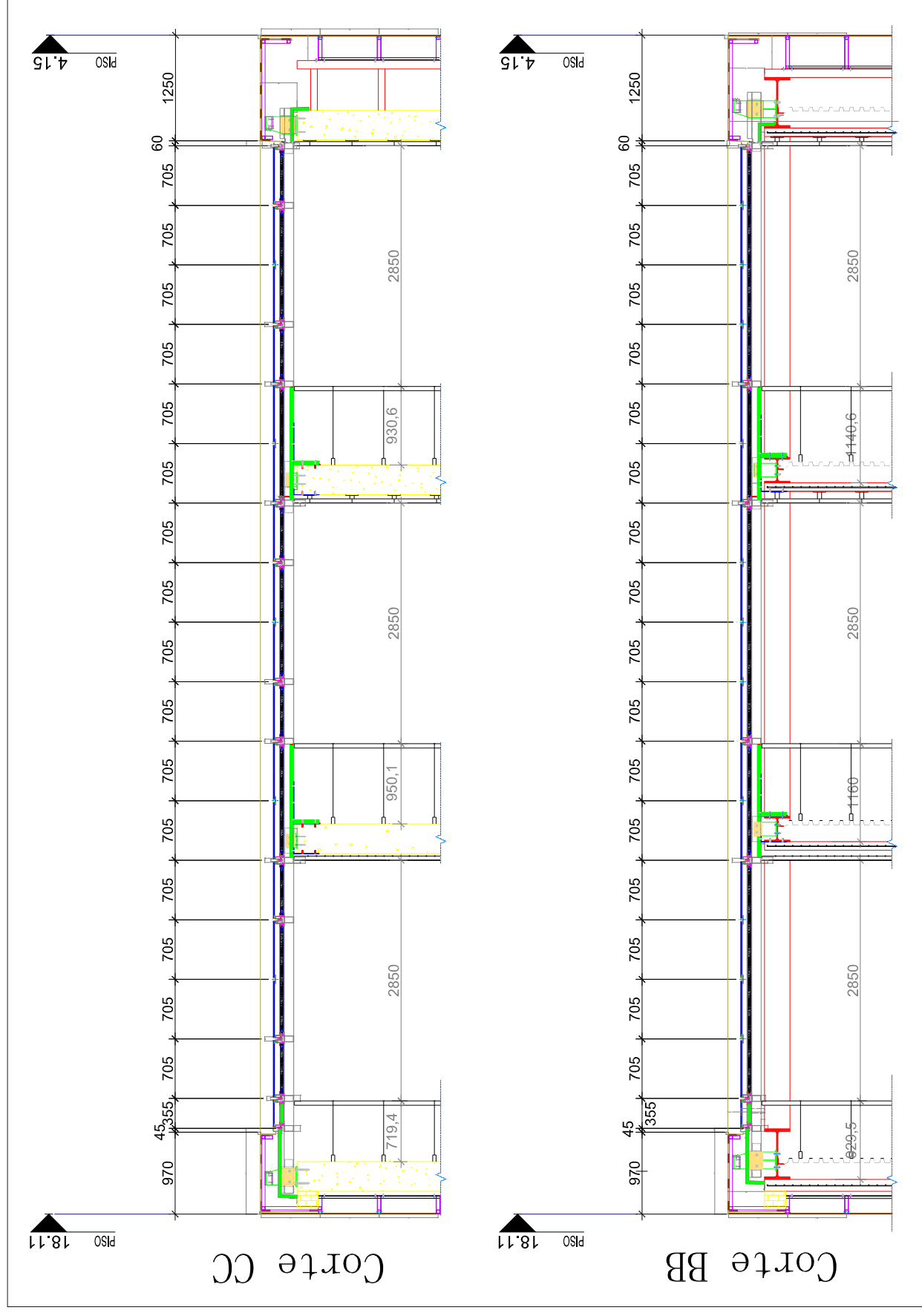


Figura D1. Alçado com modelação dos montantes e travessas de alumínio



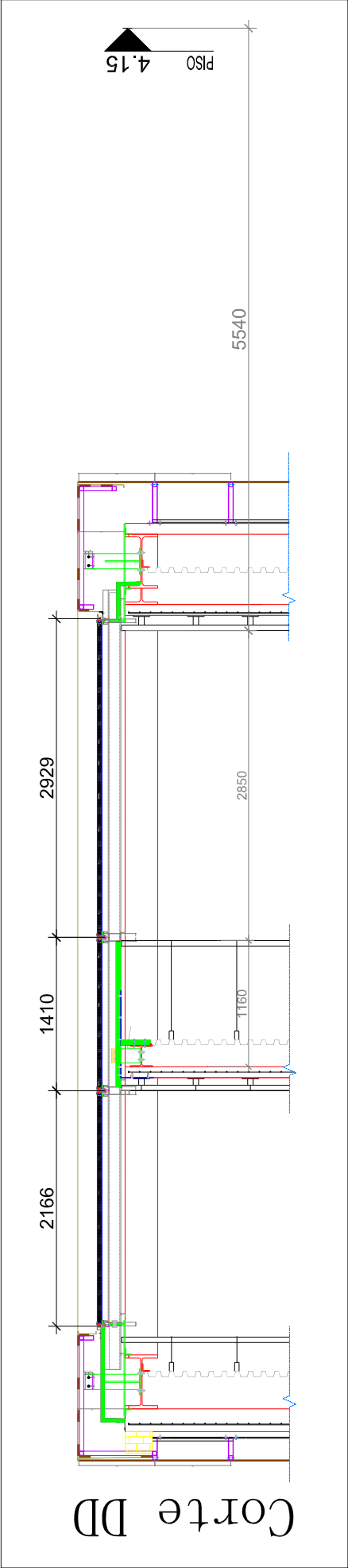


Figura D3. Corte vertical D da fachada.

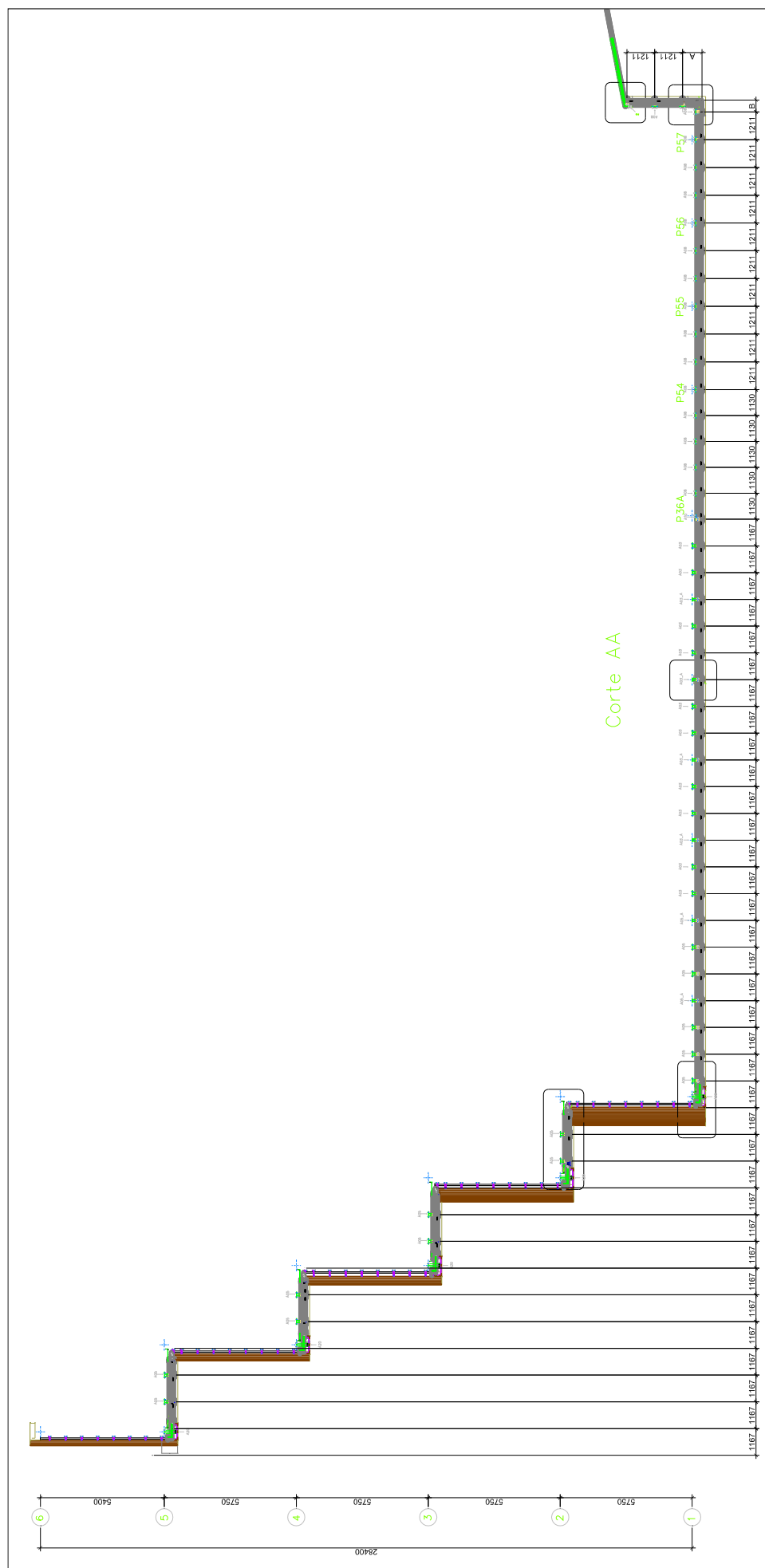


Figura D4. Secção horizontal da fachada.

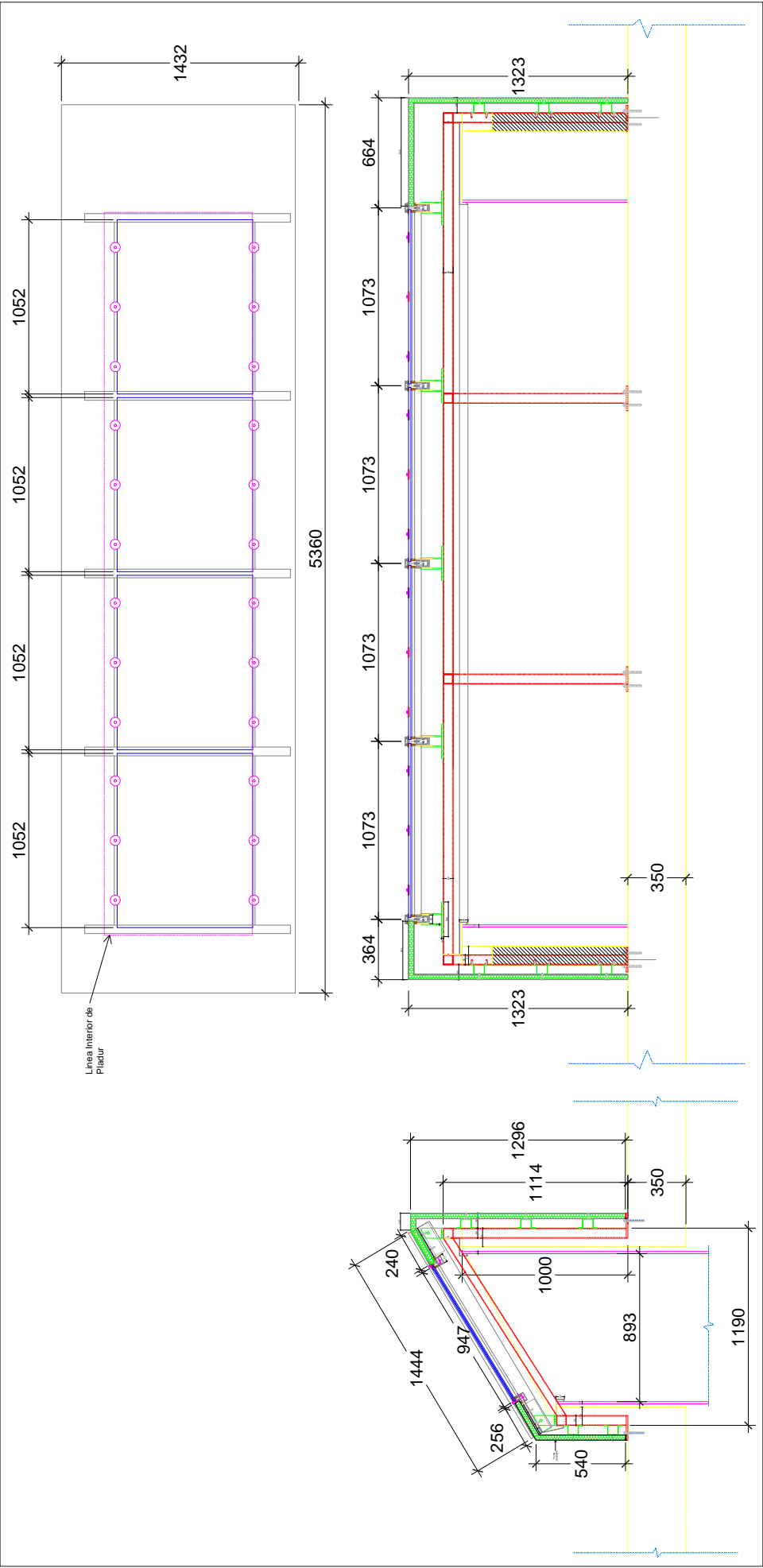


Figura D5. Planta, cortes longitudinal e transversal da clarabóia

Anexo E
Identificação de vidros

ANEXO E

Identificação de vidros

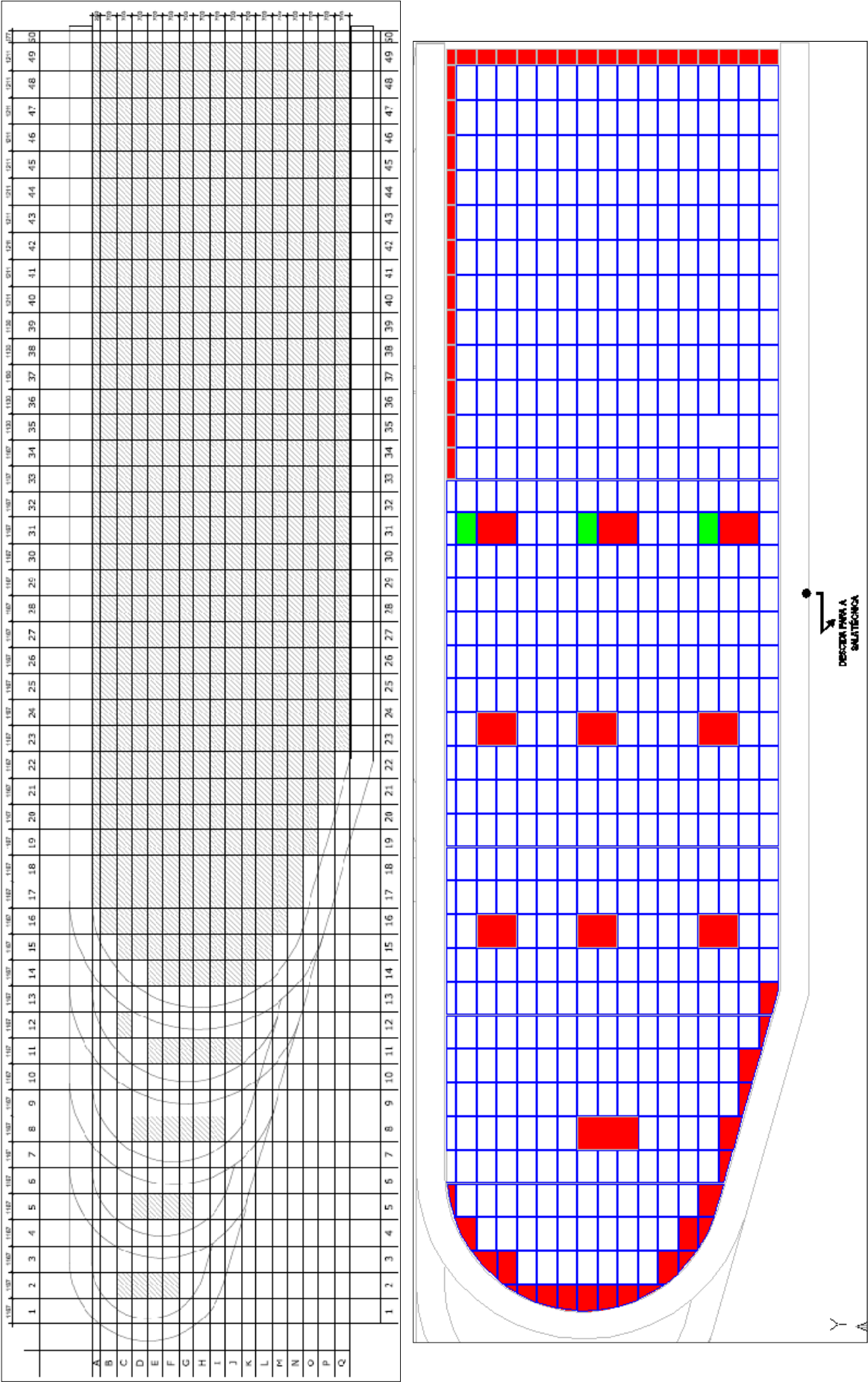


Figura E1. Alçados com modelação dos vidros fotovoltaicos e dummies.

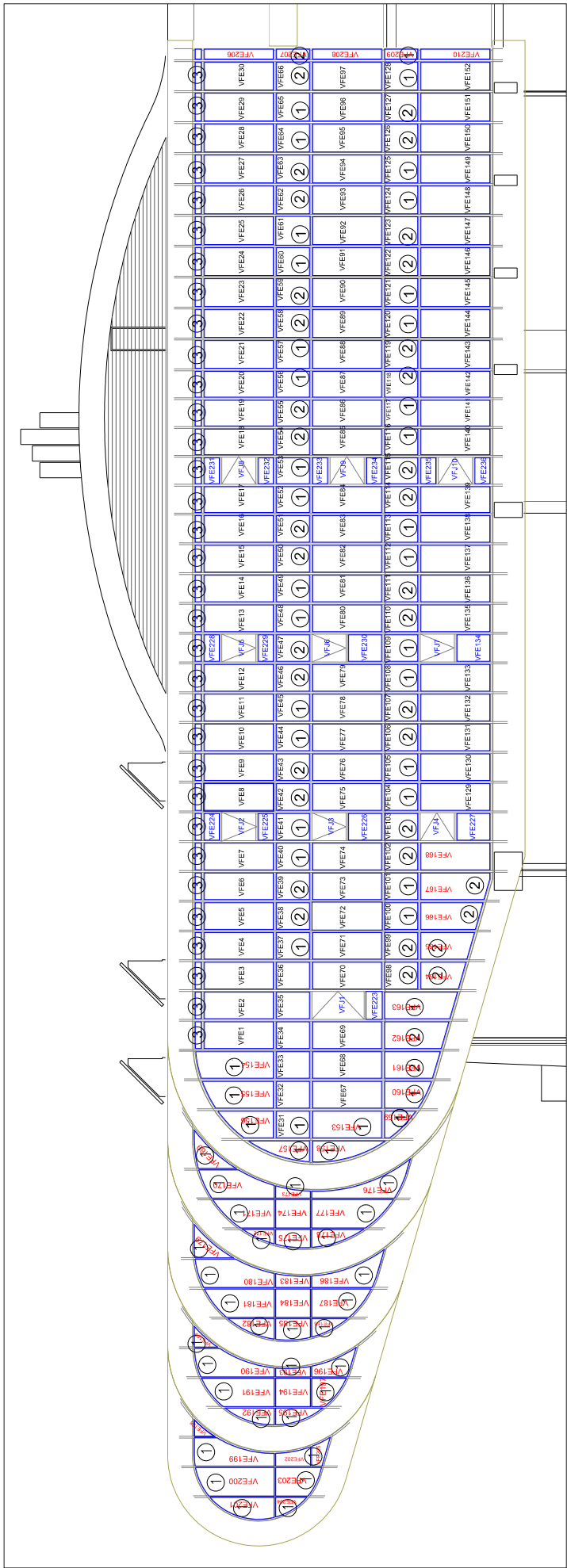


Figura E2. Alçado com identificação dos vidros de estore.

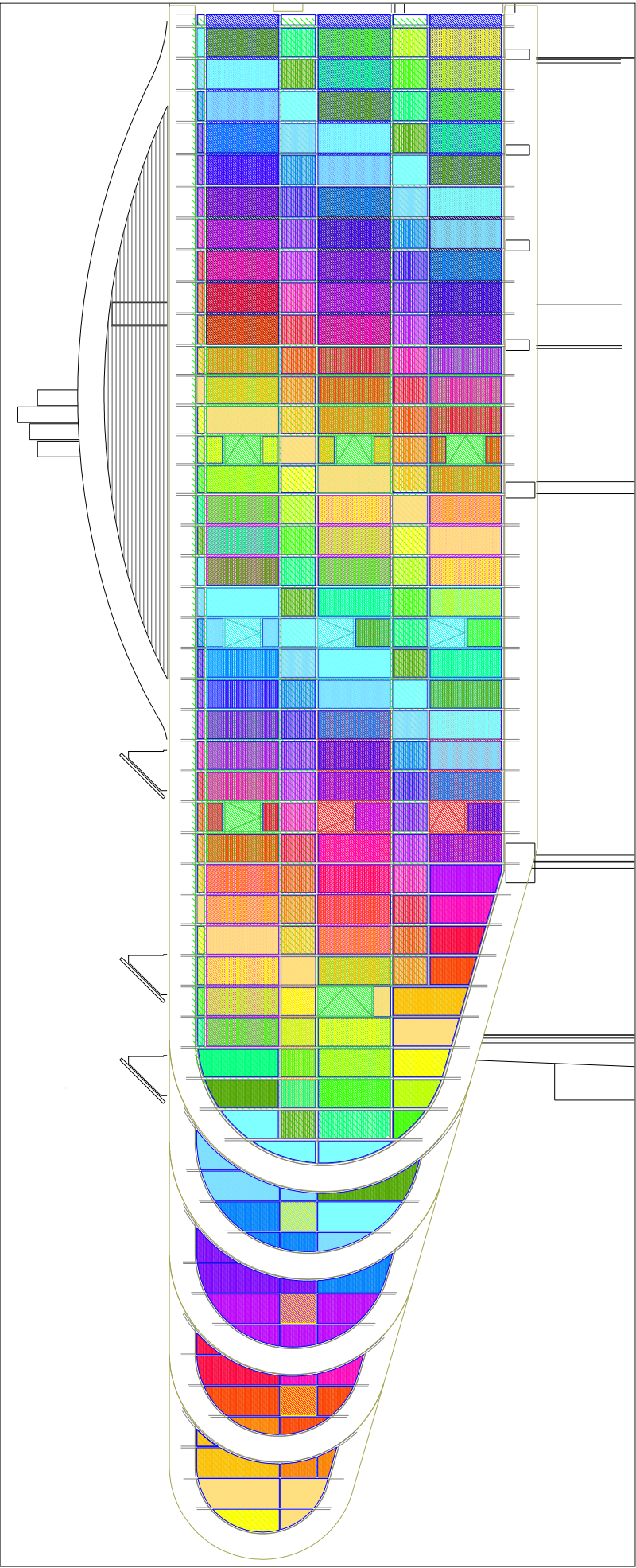


Figura E3. Alçado com identificação da cor dos estores.

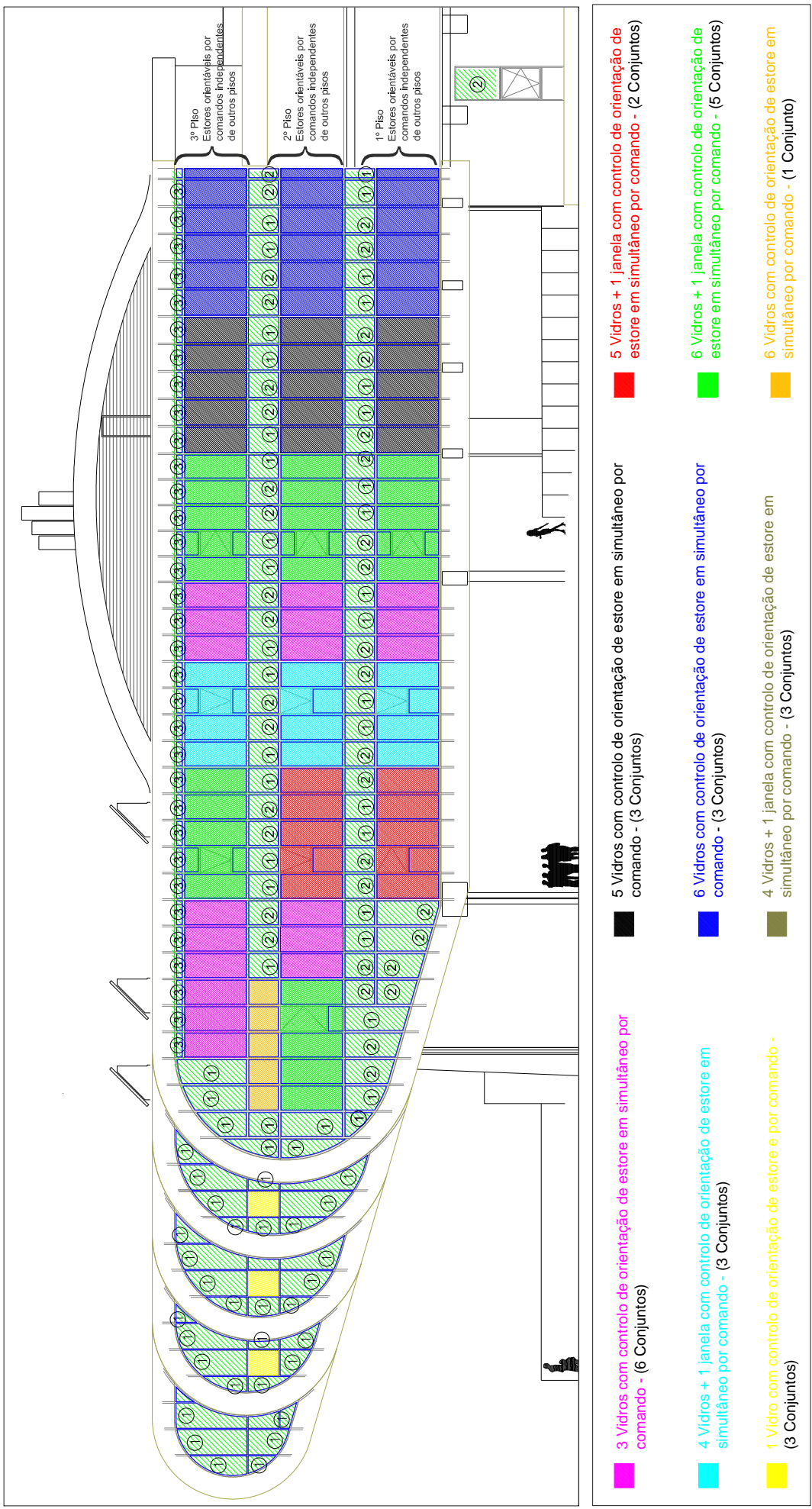


Figura E4. Esquema de activação dos estores.

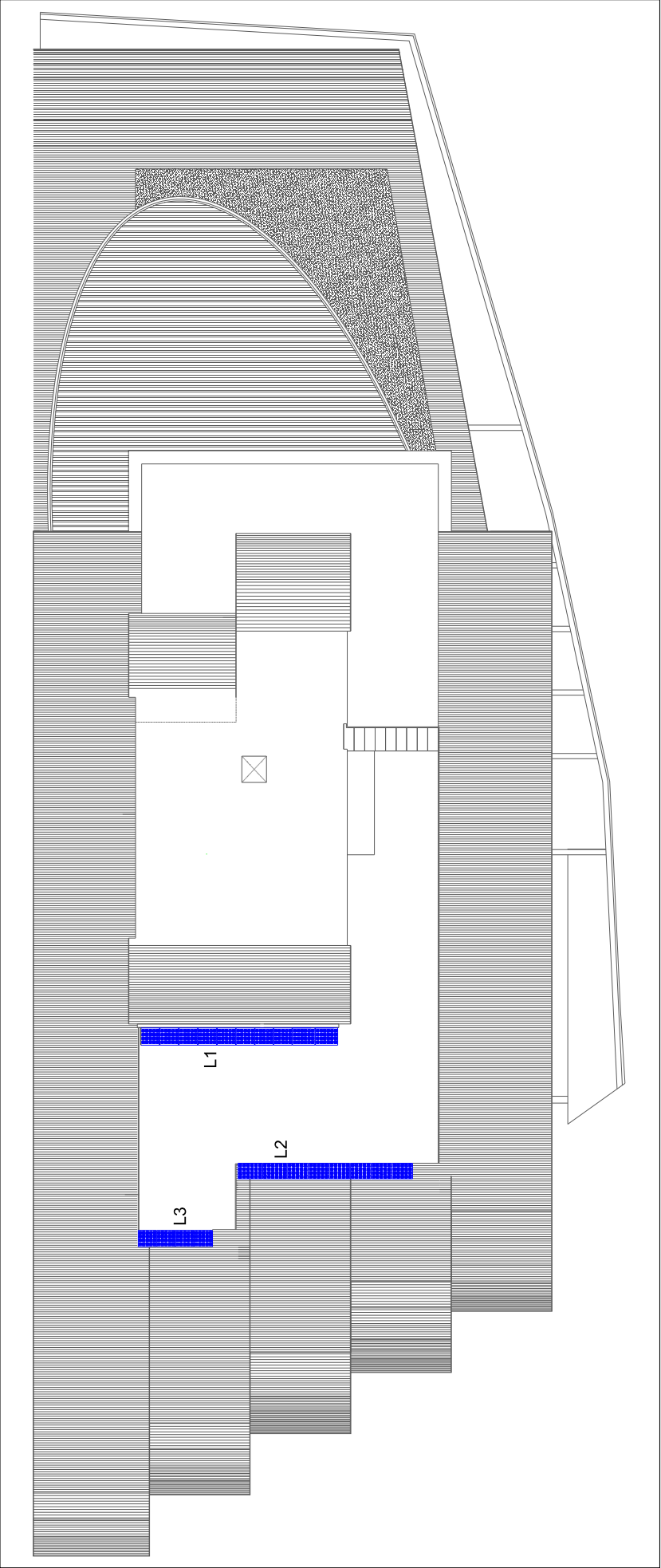


Figura E5. Identificação das clarabóias e disposição dos vidros fotovoltaicos.

Anexo F

Funcionamento dos vidros com estore

ANEXO F

F1. Funcionamento dos vidros com estore

F1. FUNCIONAMENTO DOS VIDROS COM ESTORE

Os estores têm a possibilidade de se poderem operar depois de o edifício estar em utilização. Os que são para operar através de um comando eléctrico são designados por orientáveis e os que não serão para operar são designados por fixos.

Os estores fixos são colocados na sua posição final através de uma peça com um fio e um íman que contacta com um íman instalado no vidro. Todos os estores que estão dentro do vidro estão recolhidos quando este chega à obra, como se pode observar na Figura F1, e é necessário colocar o estore na sua posição final. Esta operação é efectuada em obra antes de colocar os vidros na fachada



Figura F1. Vidros com estores recolhidos.

A peça com o íman é uma peça à parte do vidro que se leva até ao vidro e se encosta ao íman existente neste. Esta peça permite descer o estore completamente e depois disso a única operação que é possível realizar é a rotação das lâminas dos estores. A inclinação a que têm que ficar as lâminas dos estores está definida pela obra e em princípio não será para alterar com o edifício já em utilização. Esta peça não fica no vidro, pode-se guardar e utilizar quando necessário, a vantagem que se tem é que apesar de os estores serem para ficar na posição definida, se um dia houver necessidade de alterar o ângulo dos estores, é possível efectuar-lo manualmente. Na Figura F2 é possível observar o esquema de montagem do estore para accionamento com a peça com íman, pode-se também observar a peça com o íman e o fio. Na Figura F3 pode-se observar um estore e o íman inserido no vidro.

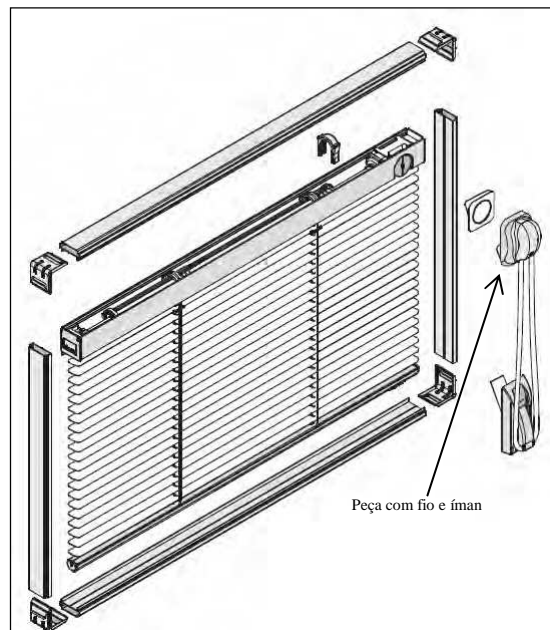


Figura F2. Esquema de montagem do estore para accionamento manual.



Figura F3. Íman para estores fixos

Em relação aos vidros com estore orientável com comando eléctrico, o critério assumido foi activar todos os estores que estão num compartimento com um comando próprio, previamente programado, com o qual só se pode operar o conjunto de estores desse compartimento. O comando só permite a rotação das lâminas e será esta a instrução dada na programação do comando, uma vez que é assim que o arquitecto da obra pretende que seja o funcionamento. O accionamento eléctrico dos estores é efectuado através do seguinte esquema:

1. O motor é colocado dentro do perfil que ocupa a parte superior da caixa-de-ar do vidro e que na foto são as peças que têm a referência, como se pode observar na Figura F4.



Figura F4. Motores dos estores.

2. Os motores são ligados às centralinas que recebem a informação dos comandos, como apresentado na Figura F5;



Figura F5. Centralinas.

3. A centralina é ligada a um transformador que alimenta tanto a centralina como os motores, como exposto na figura F6;



Figura F6. Transformador.

4. O comando actua a centralina que dá a ordem ao motor da operação a efectuar, como apresentado na Figura F7;



Figura F7. Comando.

De referir que os comandos são activados por ondas rádio, o que permite que a centralina fique oculta no tecto falso.

Na Figura F8 pode-se observar o esquema do sistema de accionamento eléctrico dos estores.



Figura F8. Sistema de accionamento eléctrico dos estores.

Na Figura F9 pode-se observar o esquema com as instruções para a utilização dos comandos.

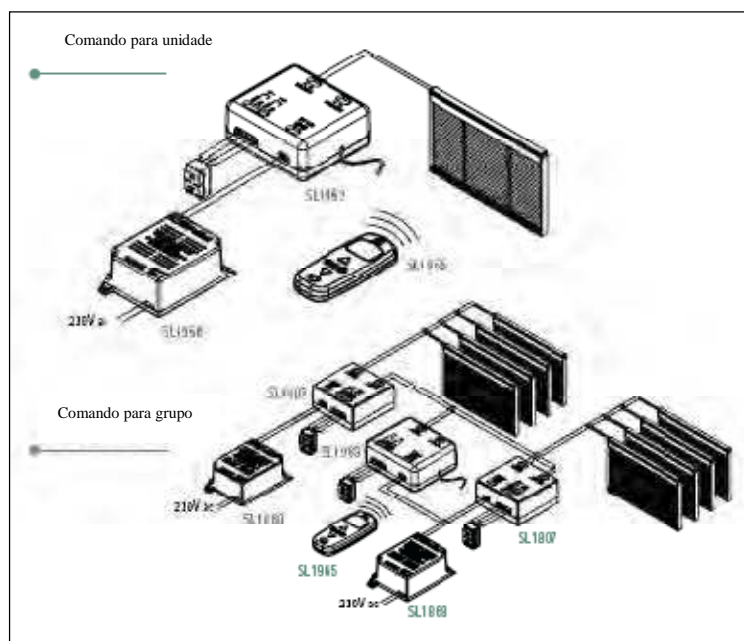
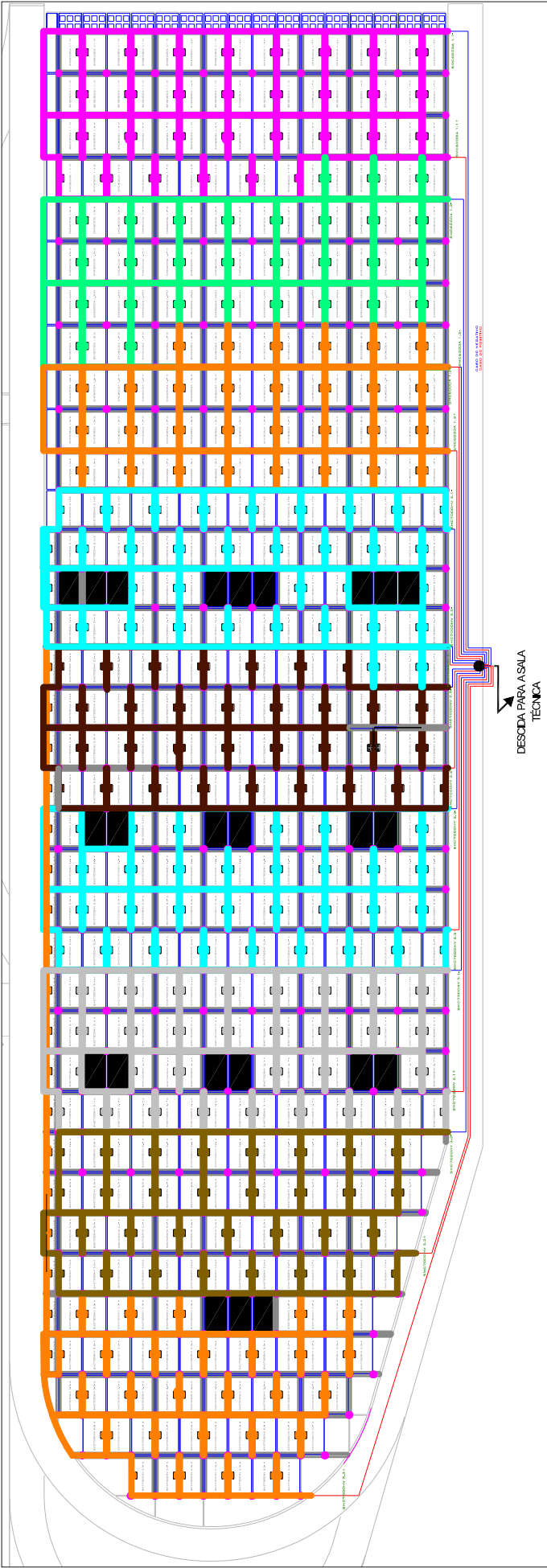


Figura F9. Instruções para a utilização do comando.

Anexo G
Ligações e conexões fotovoltaicas

ANEXO G

Ligações e conexões fotovoltaicas



LEGENDA:

- Cabo CC (Negativo)
- Cabo CC (Positivo)
- Cabo CC (Série)
- Módulo FV

Strings	
SMC 6000 A 1.1	58 módulos Tipo H
SMC 6000 A 1.2	58 módulos Tipo H
SMC 6000 A 1.3	44 módulos Tipo H+ 16 módulos Tipo D
SMC 7000HV 2.1	55 módulos Tipo D + 3 módulos Tipo E + 4 módulos Tipo A
SMC 7000HV 2.2	60 módulos Tipo A
SMC 7000HV 2.3	58 módulos Tipo A
SMC 7000HV 3.1	58 módulos Tipo A
SMC 7000HV 3.2	58 módulos Tipo A
SMC 7000HV 3.3	18 módulos Tipo B + 52 módulos Tipo A

Figura G1. Alçado com ligações em corrente contínua dos vidros fotovoltaicos das fachadas

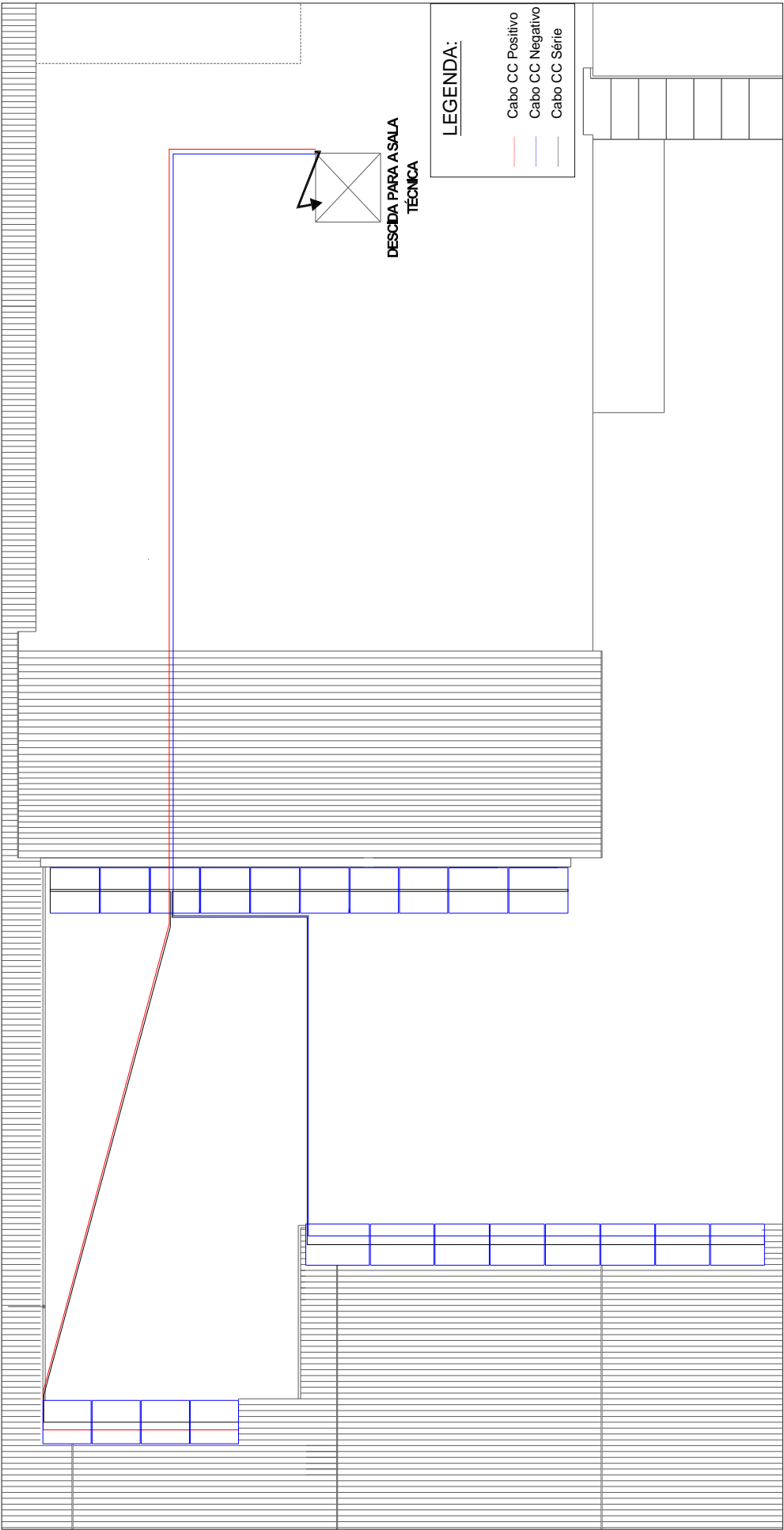
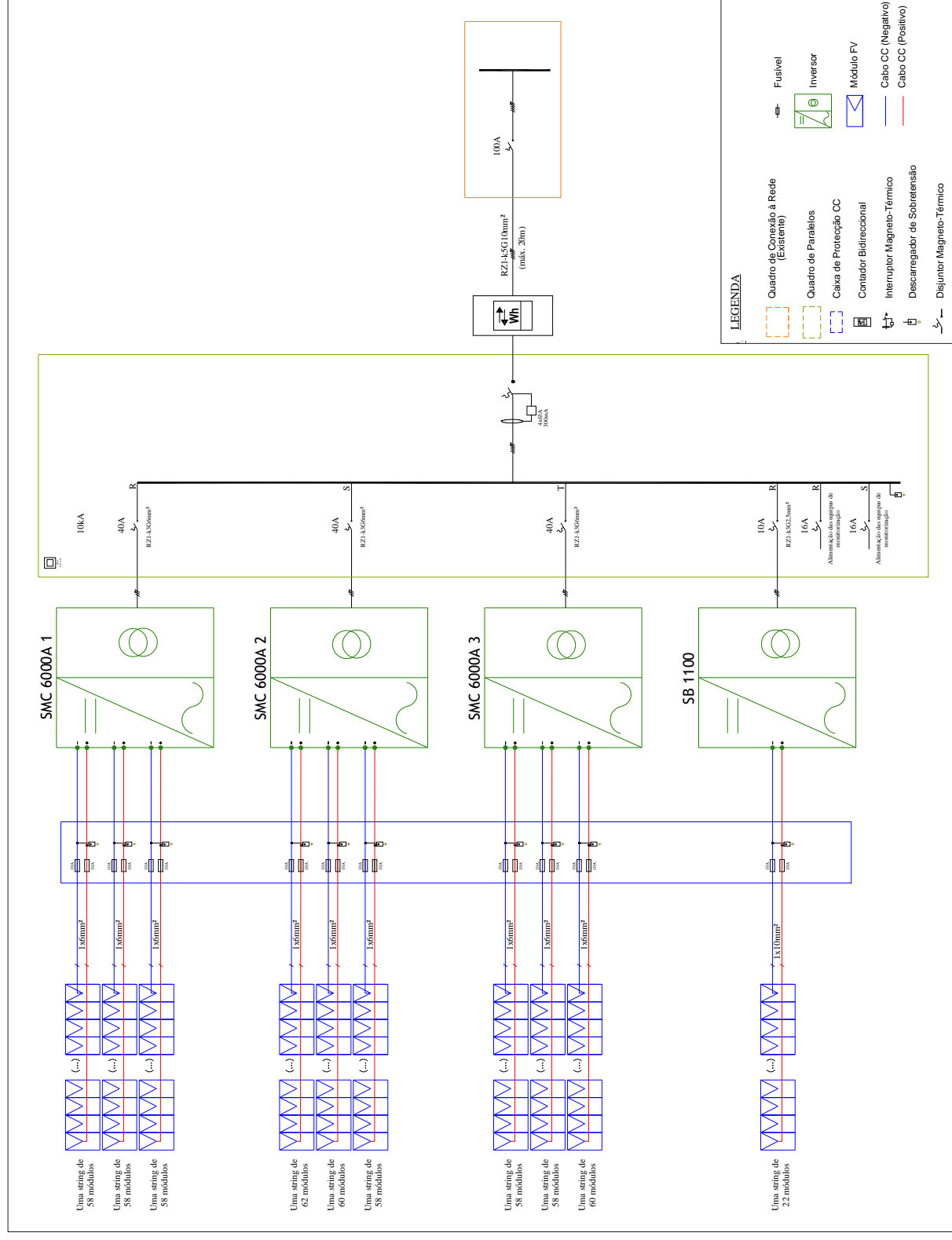


Figura G2. Planta com ligações de corrente contínua dos vidros fotovoltaicos das clarabóias



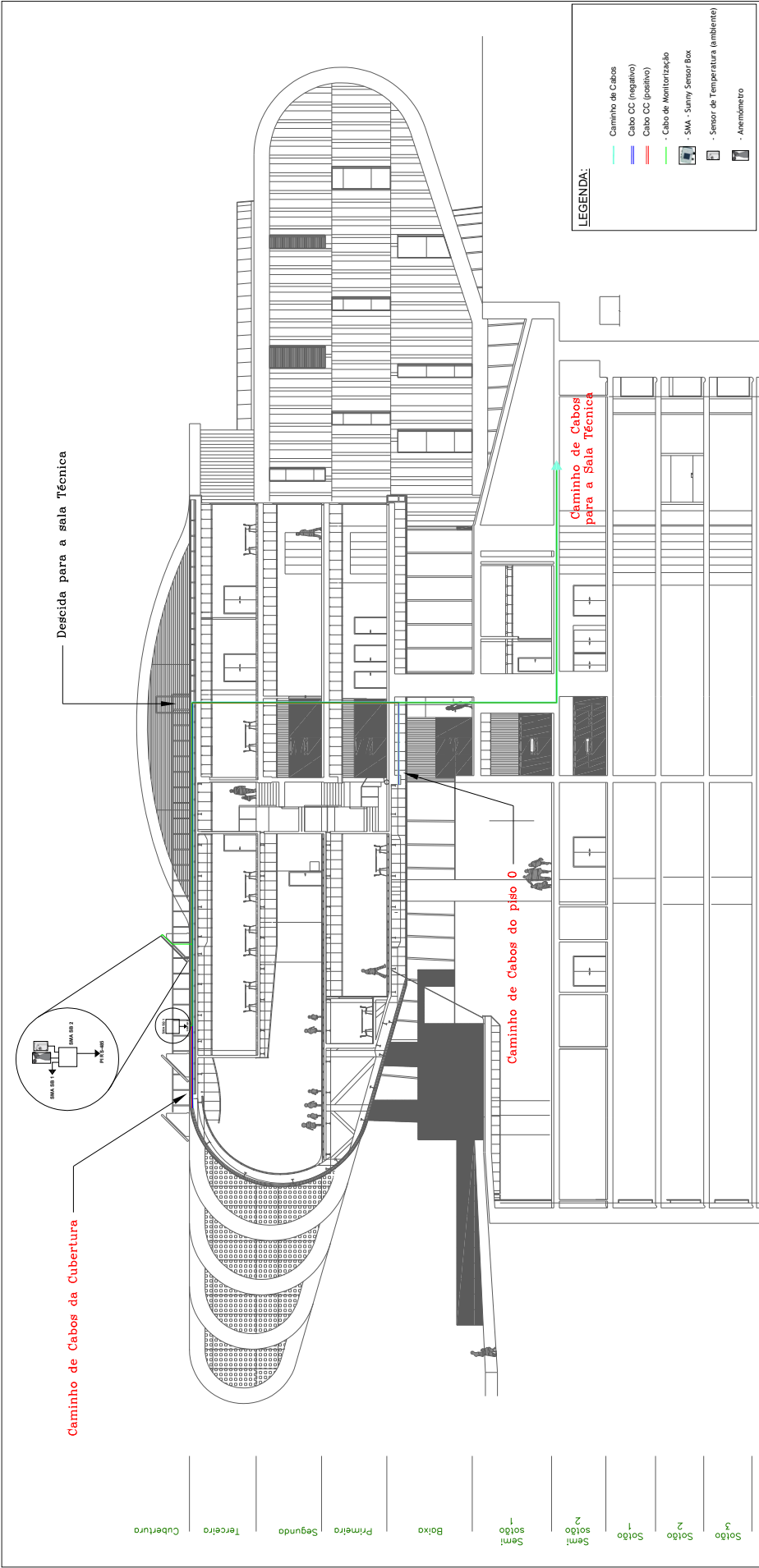


Figura G4. Corte longitudinal com percurso de cabos.

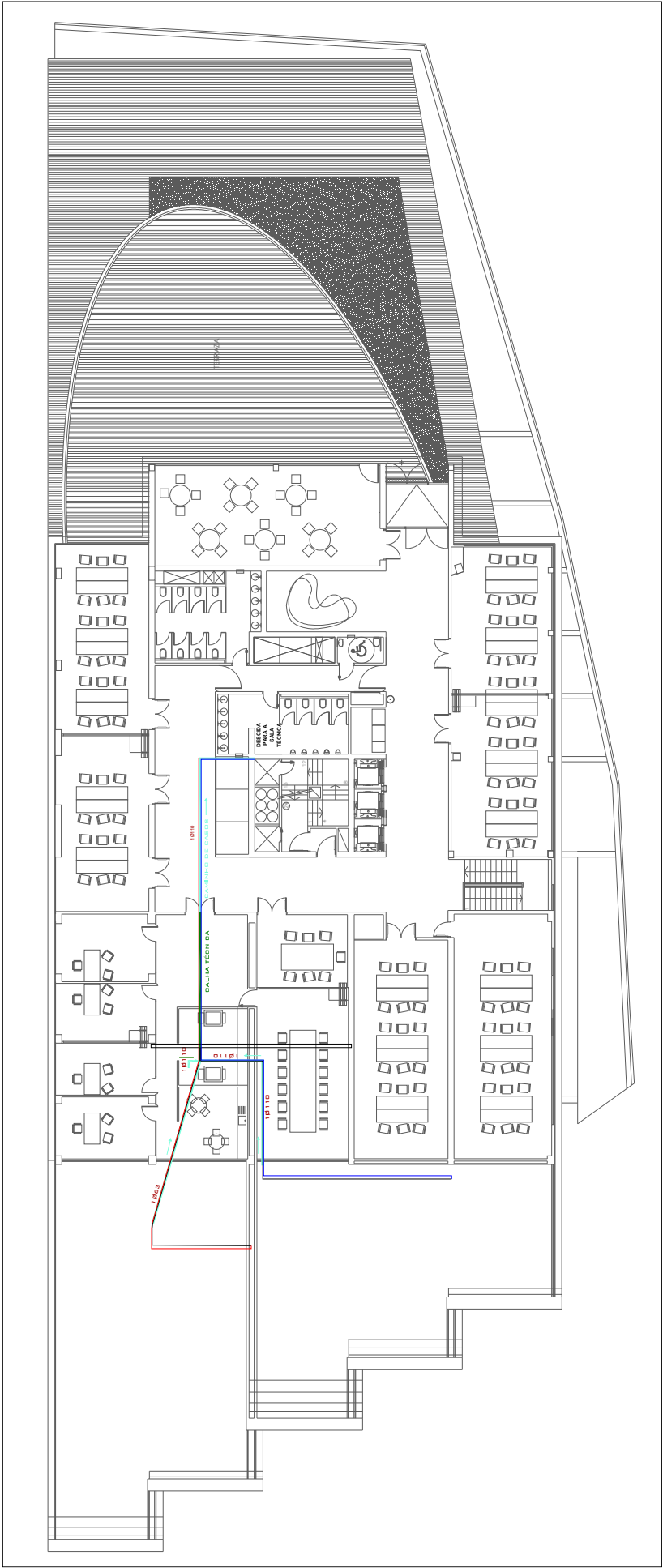


Figura G5. Planta da descida de cabos da cobertura para a sala técnica.

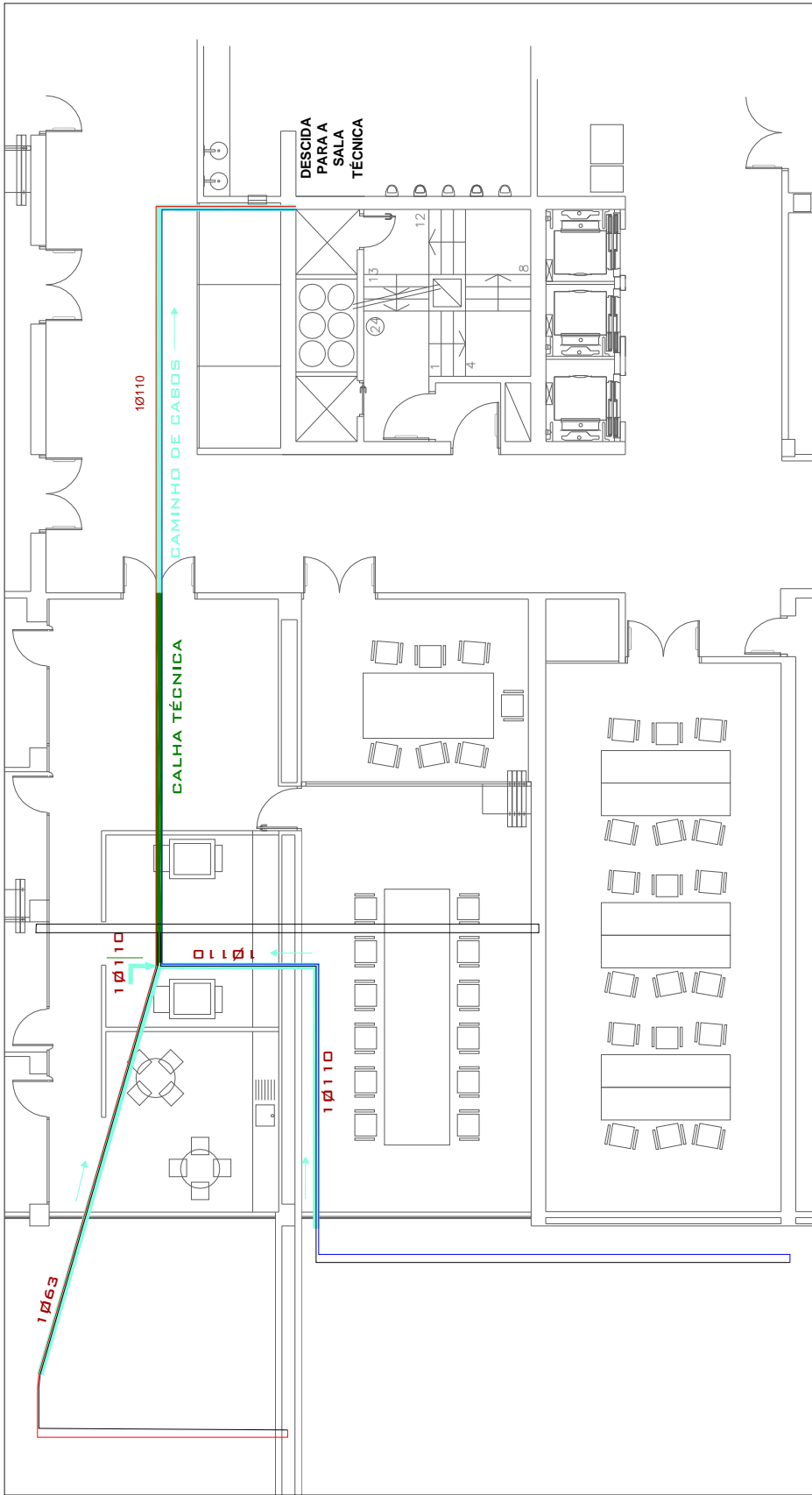


Figura G6. Pormenor da descida de cabos da cobertura para a sala técnica.

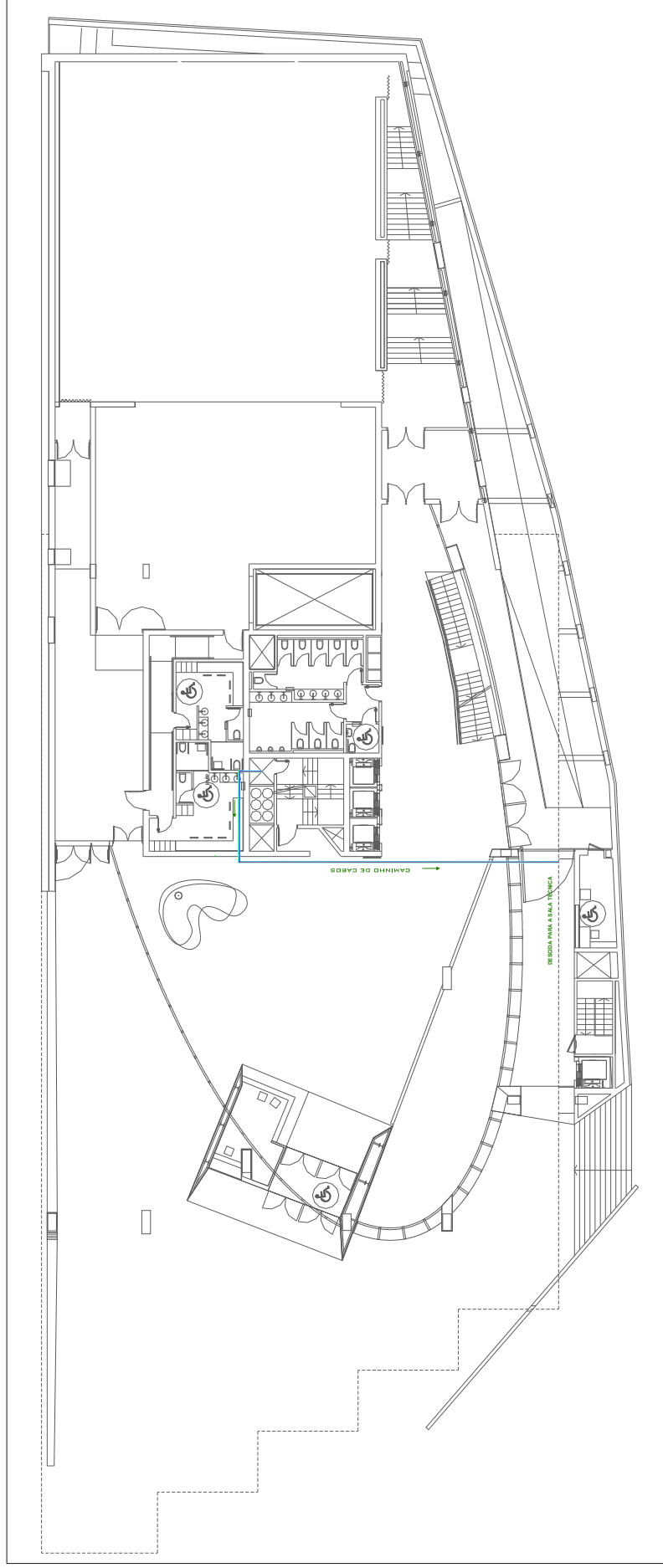


Figura G7. Planta do percurso de cabos do piso 0.

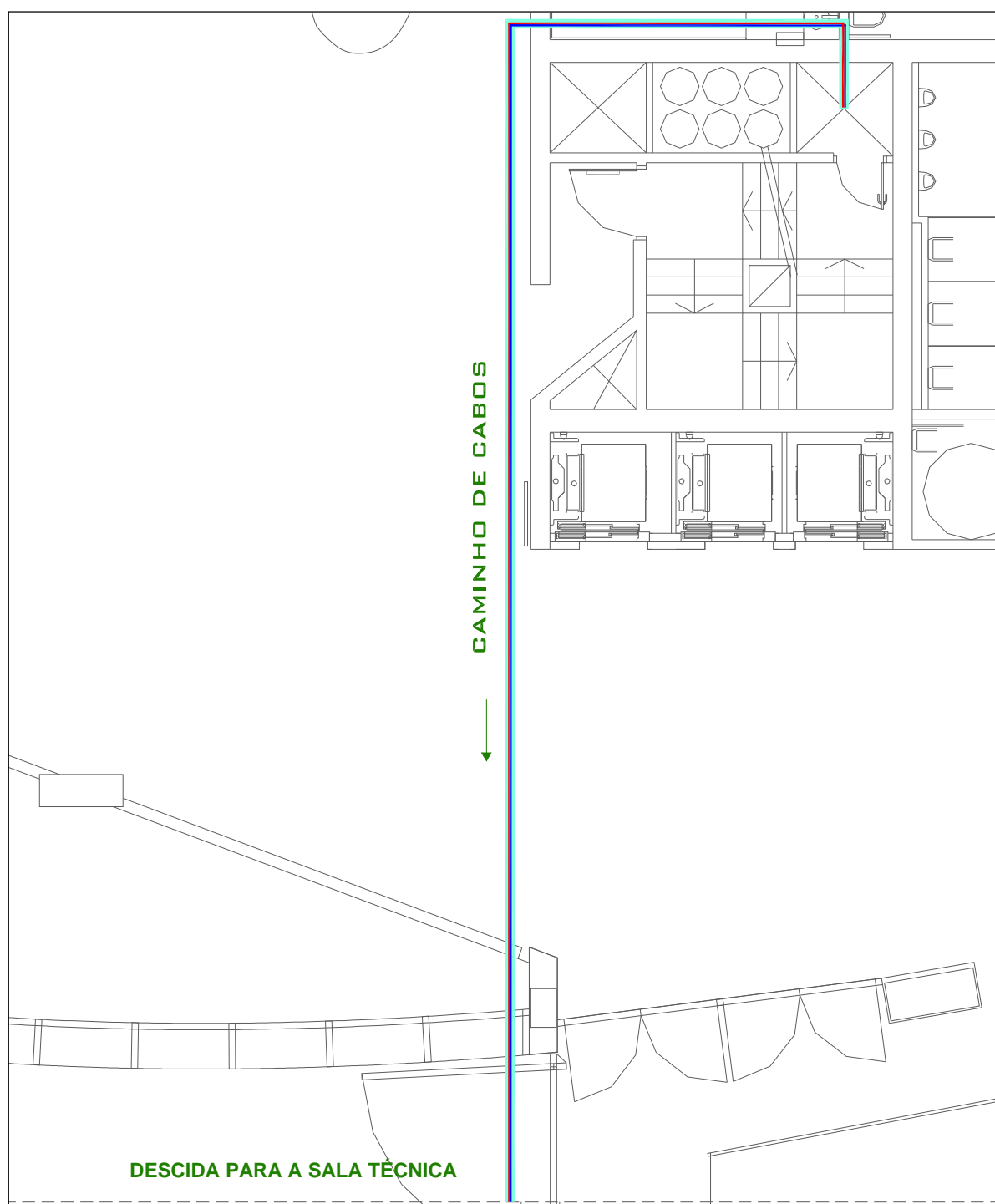


Figura G8. Pormenor do percurso de cabos do piso 0.

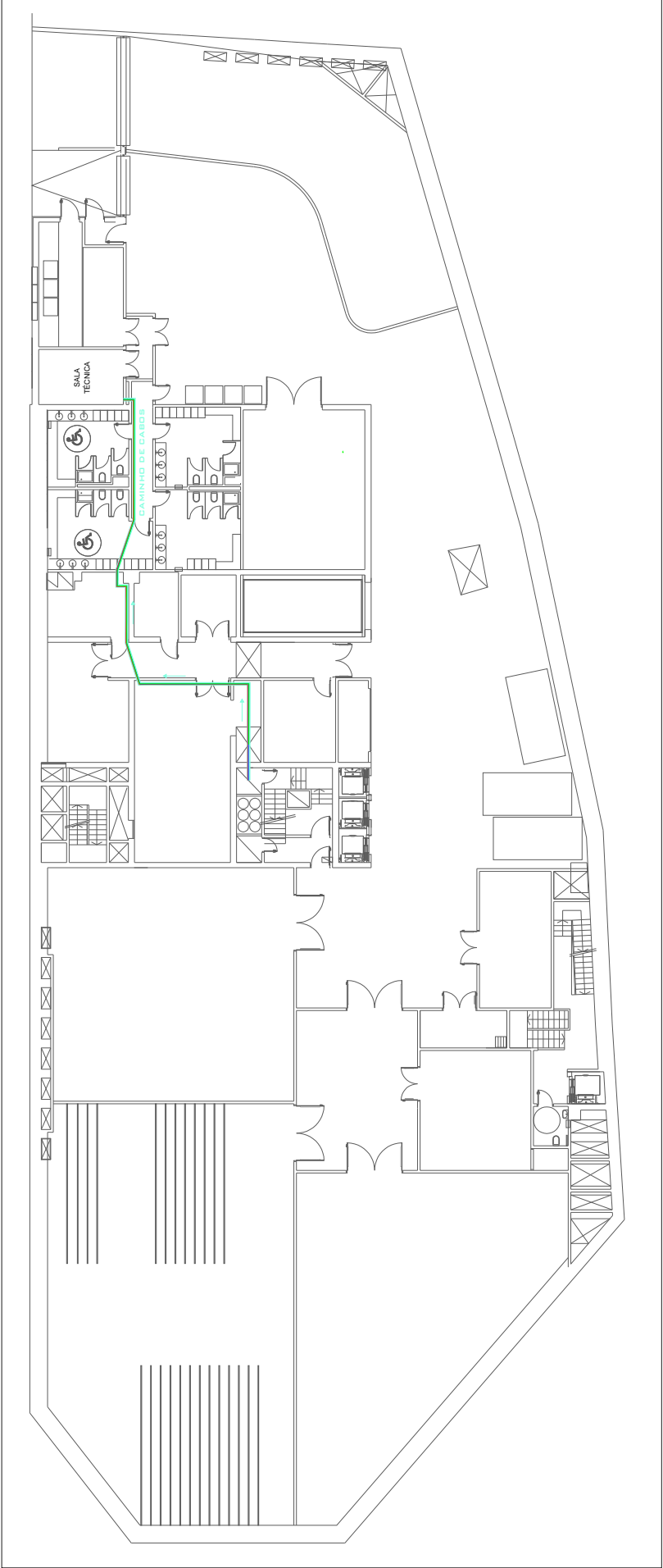


Figura G9. Planta do percurso de cabos do piso -2.

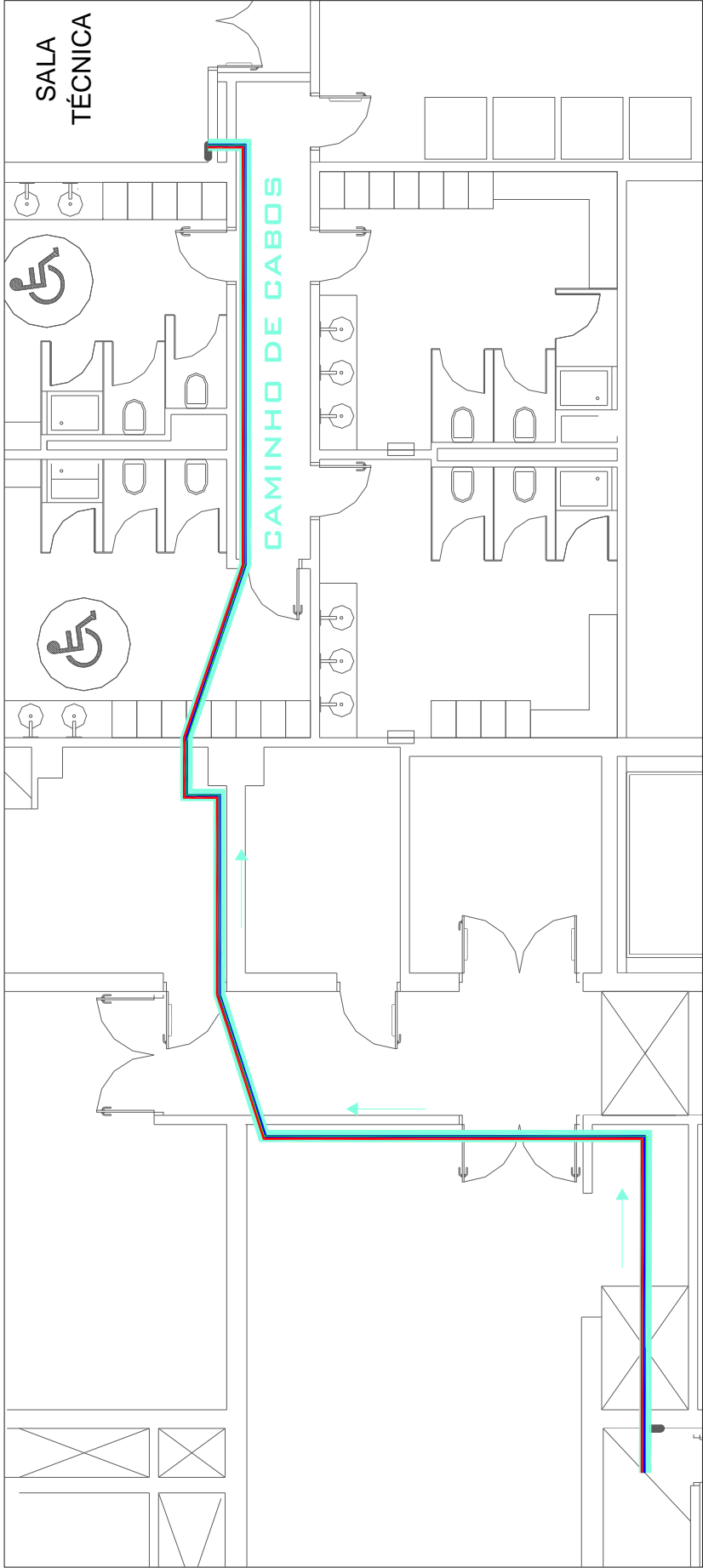


Figura G10. Pormenor do percurso de cabos do piso -2.

ANEXO H

H1. Protecções eléctricas

H1.1. Corrente contínua

H1.2. Corrente alternada

H1. PROTECÇÕES ELÉCTRICAS

H1.1. Corrente contínua

Protecções contra contactos directos e indirectos.

São tomadas medidas destinadas a proteger as pessoas contra os perigos que podem advir de um contacto com as partes activas dos materiais eléctricos, de acordo com as medidas que se indicam no regulamento vigente de baixa tensão, a saber:

- ✓ Isolamento das partes activas da instalação;
- ✓ Colocação de barreiras e envolventes;
- ✓ Interposição de obstáculos;

Na Figura H1 pode-se observar o isolamento da ligação com capacete e manga termoretráctil e na Figura H2 apresenta-se o tubo anelado de protecção do cabo solar da descida das séries.



Figura H1. Isolamento da ligação com capacete e manga termoretráctil.



Figura H2. Tubo anelado de protecção do cabo solar de 6mm² da descida das séries.

Para prevenir um hipotético caso de contacto indirecto de alguém com alguma parte da instalação projectou-se um sistema de protecção de acordo com o regulamento de baixa tensão e outras normativas.

- ✓ Os módulos fotovoltaicos estão classificados como equipamentos com protecção classe II;
- ✓ No que se refere ao resto da instalação, esta foi projectada em consonância com esse grau de protecção. Para o efeito utilizaram-se cabos revestidos e dotados de isolamento, e aptos para tensões desde 1000V segundo a norma UNE 21-123 IEC 502 90;
- ✓ O gerador fotovoltaico está conectado em modo flutuante, proporcionando níveis de protecção adequados face a contactos directos e indirectos, sempre e quando a resistência de isolamento da parte contínua se mantenha acima dos níveis de segurança e não ocorra um primeiro defeito a nível de material ou de terra. Neste último caso, gera-se uma situação de risco, que se soluciona mediante uma adequada colocação em terra do sistema que garante que a tensão de contacto gerada não supera os 24V especificados para instalações de intempérie;
- ✓ Existe um controlador permanente de isolamento, integrado no inversor, que detecta o aparecimento de uma primeira falha, quando a resistência de isolamento é inferior a um valor determinado.

Com esta condição garante-se que a corrente de defeito é inferior a 30mA, que marca o início de risco eléctrico para as pessoas. No caso de esse valor ser superior, o inversor retém o seu funcionamento e activa-se um alarme visual no equipamento.

Protecções contra sobre-intensidades.

Os defeitos que se podem apresentar nos condutores, quer seja por sobrecarga, quer seja por curto-circuito, protegem-se mediante fusíveis de calibre adequado à intensidade máxima admissível do condutor.

Deste modo está instalado um quadro de protecção CC equipado com fusíveis de 10 A/900 VDC no pólo de cada derivação do gerador fotovoltaico.

Protecções contra sobre-tensões.

A instalação dispõe de protecção a sobre-tensões, de origem atmosférica, através de descarregadores de sobre-tensões de classe II. Além do mais, o inversor conta com uma protecção interna, mediante descarregadores de tensão, que eliminam os perigos das sobre-

tensões que possam aparecer, por quedas directas ou por sobre-tensões induzidas por quedas nas proximidades da instalação.

Protecções contra polarização inversa.

Esta protecção está integrada no inversor.

Outras protecções do inversor.

Cada inversor está equipado com um interruptor na sua entrada CC, permitindo desconectá-lo do gerador fotovoltaico, sempre que necessário, por exemplo para operações de manutenção.

H1.2. Corrente alternada

São cumpridas as condições indicadas no Real Decreto 1663/2000, artigo 11 e as especificações da companhia eléctrica.

Protecções contra contactos directos e indirectos

As medidas destinadas a proteger as pessoas contra os perigos que podem advir de um contacto com as partes activas dos materiais eléctricos, de acordo com as medidas que se indicam no regulamento vigente de baixa tensão, são as seguintes:

- ✓ Isolamento das partes activas da instalação;
- ✓ Colocação de barreiras e envolventes;
- ✓ Interposição de obstáculos;
- ✓ Dispositivos de corte por corrente diferencial.

Para prevenir um caso hipotético de contacto indirecto de alguém com alguma parte da instalação, projectou-se um sistema de protecção de acordo com o regulamento de baixa tensão e outras normativas.

Utiliza-se a ligação à terra das massas associada com disjuntores diferenciais que desconectam o circuito em caso de defeito. A sensibilidade destes será a indicada nos esquemas de cablagem, garantindo uma protecção altamente eficaz.

Protecções contra sobre-intensidades sobre-tensões.

A instalação dispõe de elementos de protecção contra sobre-tensões e sobre-intensidades.

Os defeitos que se possam apresentar nos condutores, quer seja por sobrecarga, quer seja por curto-circuito, são protegidos mediante disjuntores magneto-térmicos omnipolares e de calibre adequado à intensidade máxima admirável do condutor.

O poder de corte dos disjuntores está dimensionado de acordo com a intensidade de curto-circuito que se pode apresentar na instalação.

A instalação dispõe das seguintes protecções:

- ✓ Disjuntor magneto-térmico tetrapolar, com intensidade de curto-circuito igual à do quadro do ponto de conexão e de calibre adequado à intensidade máxima admissível do condutor. Este será instalado no quadro de conexão com a instalação eléctrica do edifício.
- ✓ Interruptor magneto-térmico com protecção diferencial, a sua principal função é a protecção frente a contactos indirectos, e também actua como limite das tensões de contacto nas partes metálicas no caso de falta de isolamento nos condutores activos. Este será instalado no quadro de paralelos dos inversores.
- ✓ Disjuntores, um por cada inversor, para protecção das canalizações dos inversores até ao quadro de paralelos, de calibre adequado a intensidade máxima admissível do condutor. Estes estarão situados no quadro de paralelos.

Protecções da qualidade do fornecimento:

A instalação dispõe das protecções específicas de uma instalação fotovoltaica, tais como:

- ✓ Na instalação considerada o inversor incorpora as protecções de tensão e frequência via software. De acordo com o real Decreto 1663/2000 o inversor dispõe de um sistema de reforço automático, cujo estado (on/off) está sinalizado na zona frontal do equipamento, para realizar as manobras automáticas de desconexão-conexão. Estas efectuam-se uma vez decorridos três minutos após se recuperar as condições da rede.
Existe a possibilidade de actuação manual deste dispositivo. Por outro lado, o software de controlo das protecções é totalmente inacessível ao usuário;
- ✓ Isolamento galvânico: a instalação está dotada de uma separação galvânica entre o campo fotovoltaico e a rede de distribuição por meio de um transformador de isolamento que incorpora o próprio inversor utilizado. Desta forma garante-se a separação física dos circuitos de corrente contínua e alterna;
- ✓ Funcionamento isolado: garante-se que a instalação fotovoltaica não vai funcionar isolada graças ao interruptor automático de interconexão que incorpora o inversor e que impede esse funcionamento ao desconectar a central fotovoltaica da rede quando as condições de tensão e/ou frequência da mesma não estão dentro dos parâmetros regulamentados.

ANEXO I

I1. Canalizações eléctricas

- I1.1. Cabos de corrente contínua
- I1.2. Cabos de corrente alternada
- I1.3. Caminhos de cabos

I1. CANALIZAÇÕES ELÉCTRICAS

I1.1. Cabos de corrente contínua

Na obra foram utilizados dois tipos de cabos de 4 mm^2 de cobre que se apresentam abaixo.

- ✓ Um dos cabos de 4 mm^2 utilizado, é o cabo de referência 400C, como representado na Figura I1.



Figura I1. Cabo de corrente contínua de 4 mm^2 de cobre (400C).

Este é um cabo de cordões condutores de fio fino de cobre estanhado, o isolamento interno é constituído por um copolímero especial reticulado com uma segunda capa exterior de copolímero poliolefínico. É de cor preta, anti-inflamável, resistente a raios UV e ozono, à corrosão atmosférica e à hidrólise.

Este cabo possui ainda as seguintes características:

- Alta resistência ao desgaste por abrasão;
- Livre de halogéneos;
- Livre de substâncias que atraem a roedores;
- Temperatura de curto circuito de $+250 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Raio de flexão: $> 6 \times$ diâmetro externo;
- Tensão nominal DC: 2500V/5000V;
- Tensão nominal AC: 1800V/3000V;
- Tensão de teste: 8000 V;
- Tensão de funcionamento DC: $U_o/U \text{ } 2,5/5\text{kV}$;
- Tensão de funcionamento AC: $U_o/U \text{ } 1,8/3\text{kV}$;
- Garantia de 20 anos.

Na Tabela I1 apresentam-se as características do cabo 400C.

Tabela I1. Características do cabo 400C.

Referência Cabo	Secção transversal (mm ²)	Diâmetro exterior (mm)	Ω/km (20°C)	Cu-No (kg/km)	Peso (kg/km)
400C	4,00	4,40	5,09	38,40	50,00

- ✓ O outro cabo de 4 mm² utilizado tem a referência XLPE - HFFR XLPE 0.6/ 1.0 kV, tal como apresentado na Figura I2.

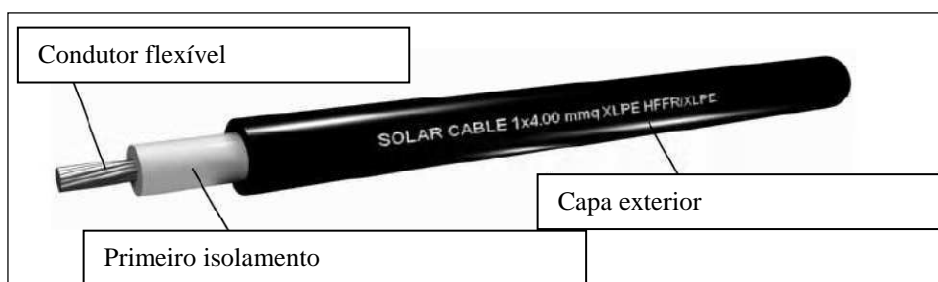


Figura I2. Cabo de corrente contínua de 4 mm² de cobre (XLPE).

Este é um cabo flexível de núcleo único, com condutor de cobre, de duplo isolamento. O isolamento possui grande flexibilidade e a camada de protecção exterior possui características de resistência à chama. É resistente aos raios UV e ozono.

Este cabo possui ainda as seguintes características:

- Livre de halogéneos;
- Temperatura de curto circuito de +200 °C durante 15 segundos;
- Temperatura de funcionamento: -40 a +120°C;
- Temperatura máxima: 150 °C durante 500 horas;
- Raio de flexão: > 5 x diâmetro externo;
- Tensão nominal DC: 600V/1000V;
- Tensão de teste: 5000 V;
- Tensão de alongamento: $\geq 10 \text{ N/mm}^2$;
- Alongamento do isolamento: $\geq 170 \%$;
- Alongamento da camada de protecção: $\geq 150 \%$.

Na Tabela I2 apresentam-se as características do cabo XLPE

Tabela I2. Características do cabo XLPE.

Referência Cabo	Nº de fios x Ø fio	Diâmetro exterior (mm)	Ω/km (20°C)	Diâmetro do núcleo (mm)	Espessura da camada de protecção (mm)
HFFR XLPE	56 x 0,30	6,00 ± 0,20	4,95	4,00	1,00

O cabo utilizado para conectar o primeiro e o último módulo da string até ao quadro de protecção CC, e deste último ao inversor, será o cabo solar de cobre com duplo isolamento (classe II) com secção de 6 mm². Estes cabos foram desenvolvidos especialmente para instalações fotovoltaicas, sendo muito resistentes a elevadas temperaturas e à incidência de radiação solar, etc.

Nesta obra são utilizados 4 inversores monofásicos, 3 para os módulos da fachada e 1 para os módulos das clarabóias. Na Figura I3 apresenta-se a localização das conexões de corrente contínua ao inversor 1, na Figura I4 ao inversor 2 e na Figura I5 ao inversor 3.

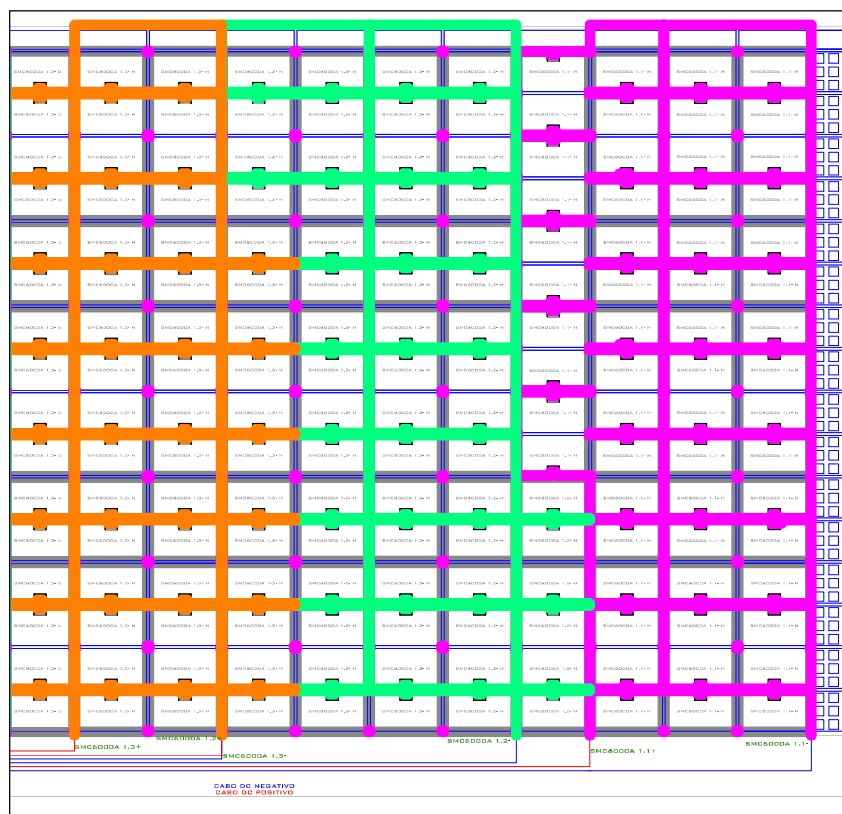


Figura I3. Conexões de corrente contínua para o inversor 1.

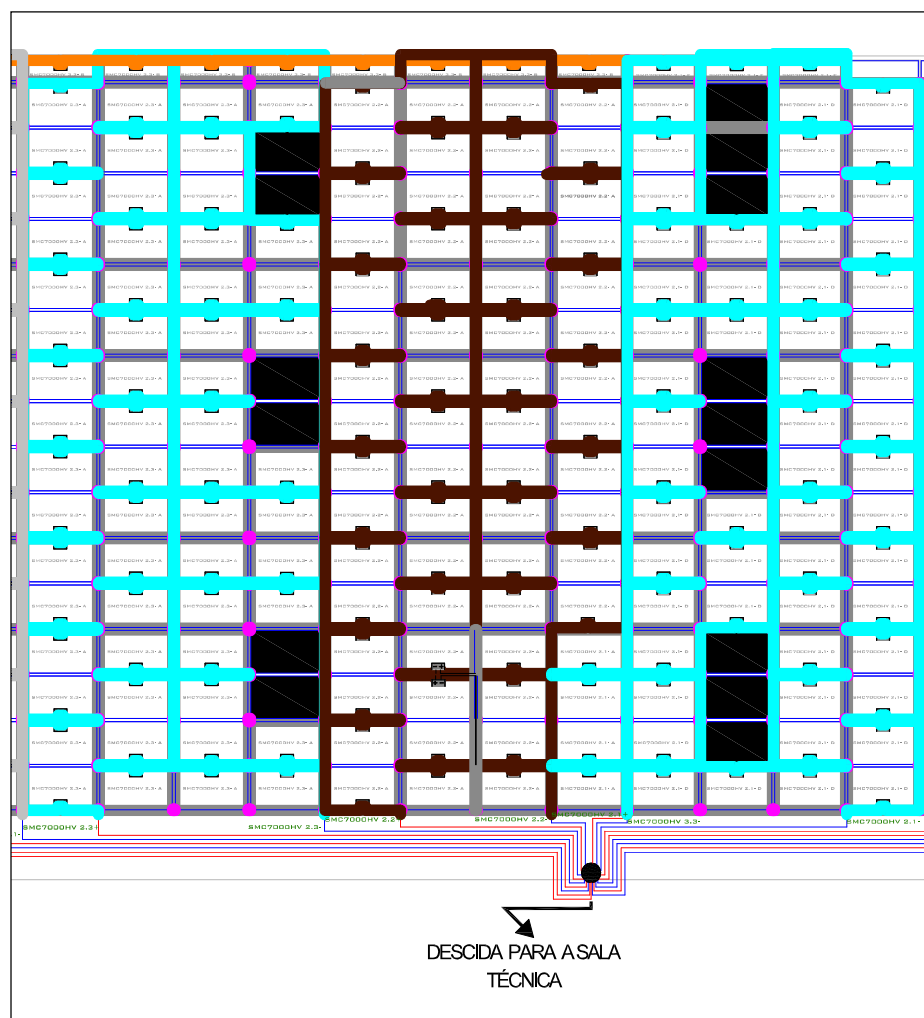


Figura I4. Conexões de corrente contínua para o inversor 2.

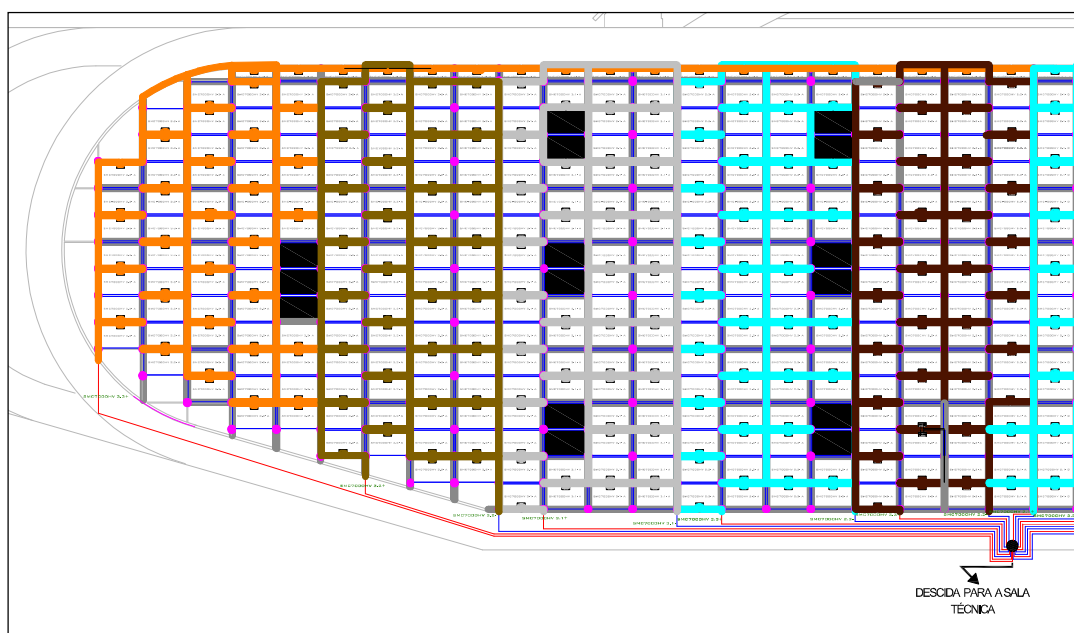


Figura I5. Conexões de corrente contínua para o inversor 3.

A canalização de corrente contínua compreende as conexões em série entre os diversos módulos fotovoltaicos que constituem o ramal, assim como a conexão do primeiro e último módulo do ramal ao quadro de protecção CC e deste ao inversor, tal como se pode observar na Figura I6.

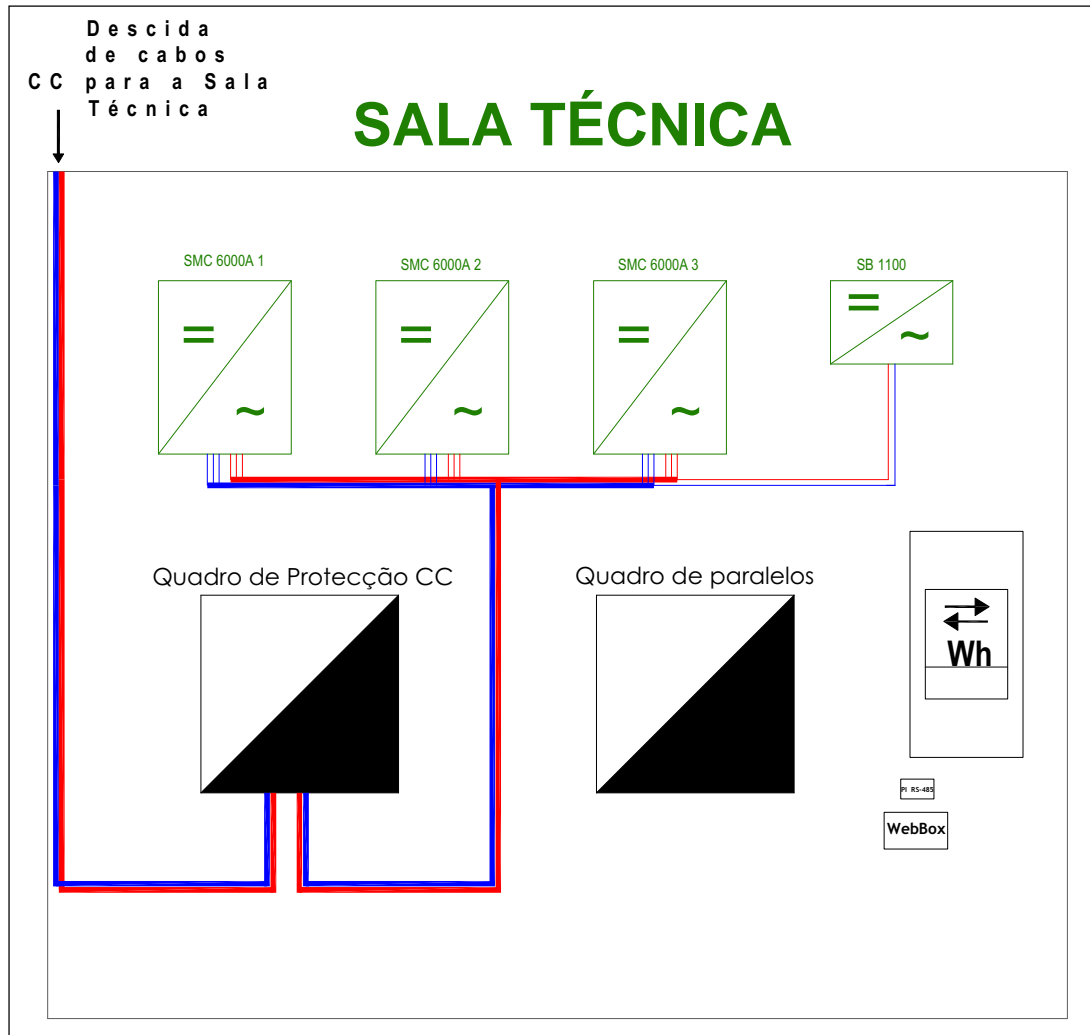


Figura I6. Conexões de corrente contínua na sala técnica.

Os módulos do ramal são conectados com os cabos que trazem de série, que neste caso é o cabo de 4mm^2 de cobre, com duplo isolamento (classe II), com um comprimento de 0,8m por cabo. Quando estes não são suficientes, utiliza-se o cabo solar de cobre com duplo isolamento (classe II) com secção de 6mm^2 .

Na Figura I7 pode-se observar a ligação do quadro de protecção das strings.



Figura I7. Ligações do quadro de protecção das strings.

I1.2. Cabos de corrente alternada

A canalização de corrente alternada compreende os seguintes trajectos:

1. Saída dos inversores até ao quadro de paralelos;
2. Conexão desde o quadro de paralelos até ao contador;
3. Conexão desde o contador até ao quadro de conexão à rede.

Na Figura I8 pode-se observar as conexões de corrente alternada na sala técnica.

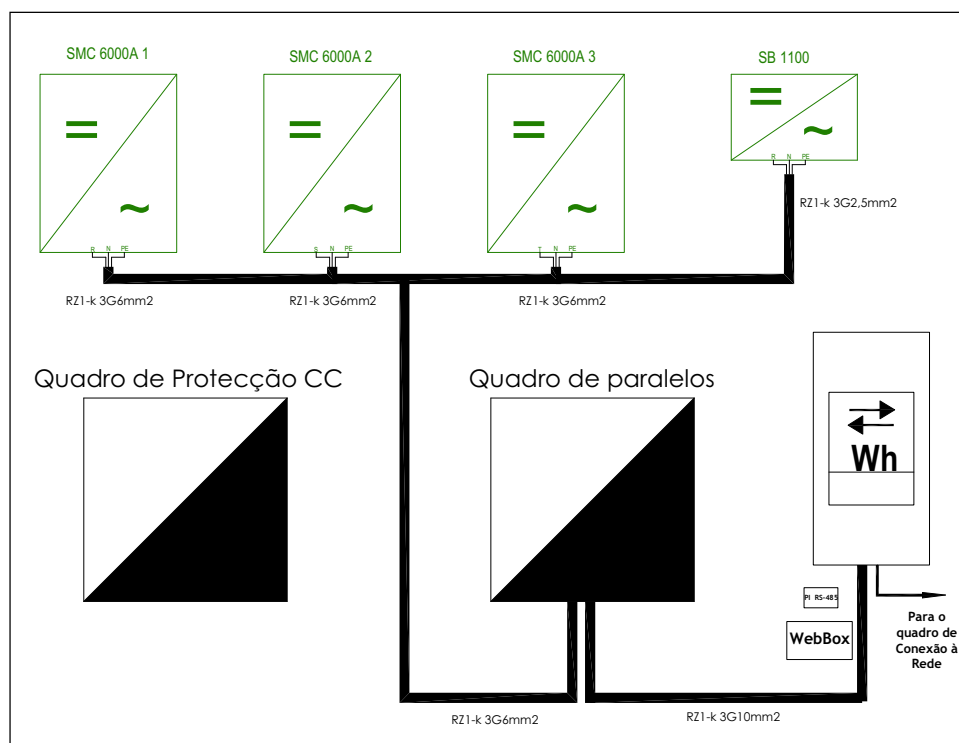


Figura I8. Conexões de corrente alternada na sala técnica.

O cabo utilizado nos três trajectos é um condutor flexível de cobre do tipo RZ1-k, classe 5 (k) com duplo isolamento, de tensão estabelecida de 0,6 / 1kV, isolamento de polietileno reticulado (R) e revestido de um composto termoplástico.

A diferença entre os trajectos está no número de condutores e secção dos mesmos. No trajecto 1 e para os inversores SMC 6000A é utilizado o cabo RZ1-k 3G 6mm², enquanto que para o inversor SB 1100 será o cabo RZ1-k 3G 2,5mm². No trajecto 2 e 3 está aplicado o cabo RZ1-k 5G 10mm².

I1.3. Caminho de cabos

A instalação está dotada de vários tipos de caminhos de cabos onde estão alojados os cabos. A cablagem da fachada e das clarabóias está alojada no interior da perfilaria de alumínio, pelo que está protegida dos raios UV e também se garante a segurança das pessoas.

No caminho de cabos até à sala técnica são utilizadas bandejas de chapa metálica e tubagens com diferentes dimensões, sendo que o projecto e a instalação de qualquer tipo de bandeja cumpre com o REBT e/ou normas aplicáveis. Adicionalmente, a instalação cumpre com as recomendações do fabricante referente a suportes e capacidade de carga.

Na Figura I9 pode-se observar o caminho de cabos no fosso na descida para a sala técnica e na Figura I10 apresenta-se uma espiral no caminho de cabos para a sala técnica



Figura I9. Caminho de cabos no fosso na descida para a sala técnica.

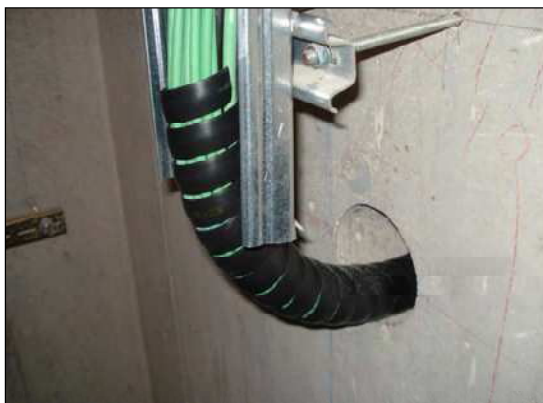


Figura I10. Espiral no caminho de cabos para a sala técnica.

Os canais metálicos são massas electricamente definidas de acordo com a normativa CEI 64-8/668 e como tal devem ser conectados à terra em todo o seu comprimento. Conectam-se à terra mediante um condutor de cobre, devendo possuir um ponto de conexão em cada tramo independentemente.

As bandejas de chapa perfurada são fabricadas a partir de chapa de aço laminado e perfuradas a frio, com uma espessura mínima de 1,5mm. O acabamento é o galvanizado e possuem um grau de protecção 9 contra danos mecânicos (UNE 20324).

Na Figura I11 apresenta-se uma calha técnica no caminho de cabos no fosso, na descida para a sala técnica, na Figura I12 pode-se observar a descida dos cabos das séries para o caminho de cabos e na Figura I13 apresenta-se uma calha técnica no caminho de cabos no fundo da fachada fotovoltaica



Figura I11. Calha técnica no caminho de cabos no fosso, na descida para a sala técnica.



Figura I12. Descida dos cabos das séries para o caminho de cabos.



Figura I13. Calha técnica no caminho de cabos no fundo da fachada fotovoltaica.

Na sala técnica são utilizadas bandejas de plástico, fabricadas em PVC rígido, anticorrosivo, não inflamável, resistente a raios UV, não propagador da chama, reacção ao fogo classe M1 segundo UNE 23727, devem ainda ser autoportantes segundo a norma EN 61537.

No dimensionamento da bandeja têm-se em conta as seguintes considerações:

- ✓ Contempla-se uma percentagem de ampliação mínima de 15%;
- ✓ A secção da bandeja será 40% superior à soma total das secções dos cabos que vão circular por cada tramo.
- ✓ A distância mínima entre suportes é a recomendada pelo fabricante em função do tipo de bandeja utilizada.